



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*  
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**PANEL DE MADERA Y TIERRA COMO UNA ALTERNATIVA  
ECOLÓGICA AL SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTA**

**AUTOR: LESLIE VALERIA LUNA ORMAZA**

**DIRECTOR: ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**Leslie Valeria Luna Ormaza** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302875190**. Declaro ser el autor de la obra: **"Panel de madera y tierra como una alternativa ecológica al sistema constructivo convencional"**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **08 de mayo del 2024**

F: .....

**Leslie Valeria Luna Ormaza**

**C.I. 0302875190**

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá, Mgtr

DOCENTE DE LA CARRERA DE ARQUITECTURA

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: **"Panel de madera y tierra como una alternativa ecológica al sistema constructivo convencional"**, realizado por: **Leslie Valeria Luna Ormaza**, con documento de identidad: **0302875190**, previo a la obtención del título de **Arquitecta** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 8 de mayo del 2024



ARQ. ANDRÉS OSWALDO VENEGAS TOMALÁ, MGTR

0103751780

DIRECTOR

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido parte en mi camino hacia la culminación de esta etapa.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles y por creer en mí siempre, incluso cuando yo mismo dudaba. A mi madre, en especial, por su infinita paciencia y por ser la fuente de inspiración que me impulsó a perseguir mis sueños, a mis compañeros de clase, quienes se convirtieron en una segunda familia durante este trayecto, por compartir conmigo alegrías, desvelos y un sinfín de recuerdos inolvidables, a mi pareja, por su amor incondicional, por su apoyo inquebrantable y por ser mi mayor motivación para no rendirme jamás.

Al arquitecto Andrés Venegas Tomalá, mi director de tesis, por su invaluable guía, por compartir conmigo sus amplios conocimientos y por su paciencia infinita, al arquitecto Jorge Toledo Toledo, por no ser indiferente ante las dificultades que se presentaron en el proceso y brindarme la mano cuando más lo necesite.

A todos ellos, mi más sincera gratitud y admiración. Gracias por ser parte de este logro tan importante para mí.

## **DEDICATORIA**

Con un nudo en la garganta y los ojos llenos de lágrimas, dedico este logro a mi fiel compañera en cada uno de mis desvelos. Mi padre siempre decía que íbamos a graduarnos juntas. Aunque la vida no lo quiso así, este logro es para ti, mi querida Morita.

Morita, has sido mi apoyo incondicional durante todo este trayecto. Tus ladridos de aliento me impulsaron a seguir adelante en los momentos más difíciles. Tu presencia a mi lado ha sido una fuente de fortaleza y alegría inigualable, nunca me olvidare de ti, te extraño todos los días.

# **Panel de madera y tierra como una alternativa ecológica al sistema constructivo convencional**

Leslie Valeria Luna Ormaza – Arq. Andrés Oswaldo Venegas Tomalá. Mgs. Universidad Católica de Cuenca. [lvlunao90@est.ucacue.edu.ec](mailto:lvlunao90@est.ucacue.edu.ec)

## **RESUMEN**

La contaminación ambiental, un desafío global que afecta a todos los sectores, demanda soluciones innovadoras, particularmente en el ámbito de la construcción. En el presente trabajo de investigación, se propone un método constructivo alternativo que emplea paneles de madera con revoque de tierra como solución innovadora para mitigar los impactos ambientales negativos asociados a la construcción convencional en Ecuador. Se realizó una comparación exhaustiva con un sistema constructivo convencional ampliamente utilizado en Ecuador. Esta comparación se basó en modelo de evaluación de impactos ambientales desarrollado por Conesa Fernández, el cual permite analizar de forma sistemática y rigurosa los efectos ambientales de las diferentes etapas del ciclo de vida de una obra de construcción. La evaluación arrojó como resultado que el sistema propuesto tiene un impacto ambiental bajo, mientras que el sistema convencional presenta un impacto ambiental medio-severo. Los hallazgos de esta investigación confirman la viabilidad del método constructivo alternativo propuesto, presentándolo como una solución prometedora para impulsar la sostenibilidad en el sector de la construcción.

Palabras clave: construcción sostenible, impacto ambiental, panel de madera y tierra, revoque de tierra, matriz de Conesa Fernández.

# Wood and Earth Panels as an Ecological Alternative to The Conventional Construction System

Leslie Valeria Luna Ormaza - Andrés Oswaldo Venegas Tomalá. Arch. Mag. Catholic University of Cuenca. [lvlunao90@est.ucacue.edu.ec](mailto:lvlunao90@est.ucacue.edu.ec)

## ABSTRACT

Environmental pollution, a worldwide challenge affecting all sectors, demands innovative solutions, particularly in construction. This research proposes an alternative construction method using wood panels with earthen plaster as an innovative solution to mitigate the negative environmental impacts of conventional construction in Ecuador. A comprehensive comparison was conducted with a traditional system of construction widely used in Ecuador. This comparison was based on the environmental impact assessment model developed by Conesa Fernández, enabling a systematic and rigorous analysis of the environmental effects at different stages of the life cycle of a construction project. The evaluation showed that the proposed system has a low environmental impact, while the conventional system has a medium-severe environmental impact. The findings of this study confirm the feasibility of the proposed alternative construction method, presenting it as a promising solution to boost sustainability in the construction sector.

Keywords: sustainable construction, environmental impact, wood and earth panel, earth plaster, Conesa Fernández matrix.



## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS .....	2
AGRADECIMIENTOS .....	3
DEDICATORIA .....	4
RESUMEN .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ABSTRACT .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
INTRODUCCIÓN .....	13
PROBLEMÁTICA .....	14
JUSTIFICACIÓN .....	15
OBJETIVOS .....	16
General .....	16
Específicos .....	16
METODOLOGÍA .....	16
CAPÍTULO 1 .....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Impacto Ambiental.....	18
1.1.1 Impacto ambiental positivo.....	18
1.1.2. Impacto ambiental negativo.....	18
1.2. Impacto ambiental en la construcción.....	18

1.3. Metodologías para evaluar el impacto ambiental en la construcción .....	19
1.3.1. Matriz de Conesa Fernández.....	19
1.3.2. Criterios de evaluación .....	23
1.4. Materiales constructivos ecológicos .....	25
1.4.1. Tierra.....	25
1.4.2. Materiales Leñosos .....	25
1.4.3. Fibras Naturales .....	26
1.5. Sistema constructivo convencional en Ecuador.....	27
1.6. Caracterización de materiales de construcción ecológicos .....	27
1.6.1. Abobe .....	27
1.6.2. Bahareque .....	28
1.6.3 BTC.....	28
1.6.4. Madera .....	29
1.6.5. Bambú .....	30
1.6.6. Paja.....	30
1.6.7. Cádizamo .....	30
1.6.8. Cabuya .....	31
1.7. Caracterización de materiales de construcción convencionales .....	31
1.7.1. Acero.....	31
1.7.2. Bloque.....	32

1.7.3. Hormigón .....	32
1.8. Huella ecológica de los materiales de construcción: consumo energético y generación de residuos .....	33
1.8.1. Demanda energética de los materiales de construcción.....	33
1.8.2. Producción de residuos de los insumos constructivos .....	36
CAPÍTULO 2.....	37
ANÁLISIS DE PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS ECOLÓGICAS .....	37
2.1 Análisis de casos de estudio.....	37
2.1.1. Caso de estudio .....	37
2.1.2. Caso de estudio 2 .....	39
2.1.3. Caso de estudio 3 .....	41
2.2. Estudio de sostenibilidad de materiales de construcción.....	43
CAPÍTULO 3.....	46
DESARROLLO DE LA PROPUESTA CONSTRUCTIVA.....	46
3.1. Descripción de la propuesta .....	46
3.1.1 Estructura del módulo .....	47
3.1.2 Relleno del módulo constructivo .....	47
3.1.3 Recubrimiento o revoque de la propuesta constructiva .....	48
3.2 Solución constructiva para mampostería .....	49
3.2.1. Solución constructiva para uniones en “T”.....	49

3.2.2. Solución constructiva para uniones en “L” .....	50
3.3. Evaluación de la sostenibilidad ambiental de los materiales de construcción.....	51
CAPÍTULO 4.....	53
4.1. Cimentación .....	53
4.1.1. Cimentación del sistema constructivo convencional .....	53
4.1.2. Cimentación del sistema constructivo propuesto.....	55
4.2. Estructura .....	56
4.2.1. Estructura empleada en el sistema constructivo convencional .....	57
4.2.2. Estructura empleada en el sistema constructivo propuesto.....	59
4.3. Envolventes.....	61
4.3.1. Envolvente del sistema constructivo tradicional.....	61
4.3.2. Envolvente sistema constructivo propuesto.....	62
5.1. Interpretación de resultados .....	64
5.1.1 Cimentación .....	64
5.1.2. Estructura .....	65
5.1.3. Envolvente .....	65
CONCLUSIONES .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valoración numérica de criterios de impacto ambiental.....	22
<b>Tabla 2</b> Interpretación de resultados .....	23
<b>Tabla 3</b> Calificación de impactos ambientales.....	24
<b>Tabla 4</b> Materiales de construcción ecológicos .....	26
<b>Tabla 5</b> Materiales de construcción convencionales.....	27
<b>Tabla 6</b> Energía incorporada de materiales primarios .....	35
<b>Tabla 7</b> Energía incorporada de materiales secundarios.....	35
<b>Tabla 8</b> Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 1 .....	37
<b>Tabla 9</b> Materiales empleados caso de estudio 1 .....	38
<b>Tabla 10</b> Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 2.....	39
<b>Tabla 11</b> Materiales empleados caso de estudio 2.....	39
<b>Tabla 12</b> Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 3 .....	41
<b>Tabla 13</b> Materiales empleados: caso de estudio 3 .....	41
<b>Tabla 14</b> Aplicación de la matriz de Conesa Fernández.....	44
<b>Tabla 15</b> Impacto ambiental de los materiales de la propuesta presentada .....	52
<b>Tabla 16</b> Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo tradicional .....	53
<b>Tabla 17</b> Evaluación del impacto ambiental del sistema constructivo propuesto.....	55
<b>Tabla 18</b> Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo convencional .....	57
<b>Tabla 19</b> Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo propuesto.....	59
<b>Tabla 20</b> Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo tradicional .....	61
<b>Tabla 21</b> Evaluación del impacto ambiental del sistema constructivo propuesto.....	63
<b>Tabla 22</b> Resumen de resultados obtenidos .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Energía Incorporada (fabricación y extracción de materiales).....	34
<b>Figura 2</b> Solución constructiva caso de estudio 1 .....	38
<b>Figura 3</b> Solución constructiva caso de estudio 2.....	40
<b>Figura 4</b> Solución constructiva ejemplo 3 .....	42
<b>Figura 5</b> Propuesta de módulo constructivo .....	46
<b>Figura 6</b> Despiece del módulo constructivo .....	47
<b>Figura 7</b> Sistema de encaje entre los módulos .....	49
<b>Figura 8</b> Solución constructiva para uniones en “T” .....	50
<b>Figura 9</b> Ejemplificación de unión en “T” .....	50
<b>Figura 11</b> Ejemplificación de unión en “L” .....	51
<b>Figura 13</b> Cimentación del sistema constructivo propuesto .....	56
<b>Figura 15</b> Estructura del sistema constructivo propuesto .....	60
<b>Figura 16</b> Cubierta del sistema constructivo convencional .....	62
<b>Figura 17</b> Cubierta del sistema constructivo propuesto.....	63

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> Importancia de un impacto ambiental .....	20
-------------------------------------------------------------	----

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el sector responsable del desarrollo y mantenimiento de la infraestructura física se posiciona como un factor determinante en el deterioro ambiental. Su elevado consumo energético, la generación de residuos contaminantes y la emisión de gases con efecto invernadero durante los procesos de producción, construcción y demolición, la convierten en una actividad con un impacto ambiental considerable.

Con el fin de solventar esta problemática, se presenta la necesidad de generar métodos constructivos alternativos que minimicen el impacto ambiental en Ecuador. Este trabajo de investigación se propone generar un sistema constructivo innovador basado en la utilización de materiales ecológicos y procesos eficientes, para alcanzar el objetivo de mitigar significativamente la degradación del medioambiente en comparación con el sistema constructivo convencional.

Para lograr el objetivo planteado, el estudio cuenta con cuatro partes. En la primera, se lleva a cabo un análisis minucioso de los estudios previos relacionados a los impactos ambientales del sistema constructivo convencional, así como de las alternativas ecológicas existentes. En la segunda etapa, se seleccionan y analizan tres sistemas constructivos ecológicos con el fin de identificar sus características esenciales y ventajas. En la tercera etapa, se diseña y prototipa un panel constructivo innovador que incorpora los principios de la construcción ecológica. Finalmente, en la cuarta etapa, se realiza una comparación entre el sistema constructivo convencional y el sistema propuesto, evaluando diversos indicadores ambientales.

Se espera que este trabajo de investigación contribuya al desarrollo de la construcción sostenible, proporcionando una alternativa viable para reducir el impacto ambiental del sector.

## **PROBLEMÁTICA**

La base y la estructura de hormigón son los elementos predominantes en las construcciones de Ecuador, según la última Encuesta de Edificaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Por consecuencia la industria enfocada a la construcción se encuentra entre los principales impulsores de la contaminación ambiental, ya que, aporta significativamente a la producción de desechos que contaminan el aire, agua y suelo, debido a nuevas construcciones o demoliciones. El sistema constructivo convencional hace uso indiscriminado de materiales valiosos y recursos no renovables afectando, a largo plazo, gravemente al medio ambiente, la emisión de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes afectan directamente a problemas como la alteración del clima y la presencia de contaminantes en el aire de las ciudades, por lo que es fundamental mitigar la contaminación producida por la construcción para así evitar el deterioro acelerado del medio ambiente y concientizar la importancia de disminuir residuos contaminantes (Vallejo et al., 2023)

Frente al desafío del cambio climático, es necesario desarrollar sistemas constructivos más sostenibles, por ello se busca recopilar características de sistemas constructivos existentes para aplicarlas en una propuesta constructiva que haga uso de madera y tierra como material principal para analizar la energía que consume en su producción y la gran cantidad de residuos que producen, con el fin de compararlos con las características ambientales del sistema constructivo convencional, estos datos serán fundamentales para el desarrollo de un sistema constructivo más sostenible.

## JUSTIFICACIÓN

El hormigón, material omnipresente en el paisaje urbano actual, ostenta el título de uno de los elementos con mayor producción a nivel mundial. Se produce casi tres veces más cantidad de hormigón que de alimentos destinados al consumo humano. (Lliso Ferrando et al., 2022)

Se destaca en la actualidad el hormigón como el material más utilizado para construcciones, por su versatilidad y cualidades mecánicas. Empero, contribuye a la emisión de gases contaminantes generados durante la elaboración de sus componentes, especialmente del cemento. (Lliso et al., 2022)

Basándonos en las cifras del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en su boletín técnico publicado en el año 2022, con respecto al uso de materiales de construcción convencionales, el hormigón armado fue el material principal usado para las edificaciones a construirse a nivel nacional, en cimientos (70,7%), pisos (22,0%), estructura (59,9%) y cubierta (27,8%). En el 41,8% de las potenciales edificaciones, los bloques se rigen como la opción preferida para la construcción de paredes. (Vallejo et al., 2023)

La construcción es responsable de aproximadamente el 40% del uso de agua dulce a nivel mundial, esto se debe a que al ejecutar el hormigón requiere una gran cantidad de agua, y las construcciones o demoliciones pueden contaminar este recurso. Ante la magnitud del impacto ambiental negativo que genera la construcción convencional, surge la necesidad de desarrollar e implementar soluciones constructivas alternativas que minimicen significativamente dicho impacto. Una alternativa ecológica y viable para las nuevas construcciones es beneficiarse de las riquezas naturales como la madera y la tierra (UNEP, 2022)

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer el diseño de un panel de madera y tierra como alternativa ambientalmente responsable al sistema constructivo convencional, utilizando recursos biodegradables para reducir su impacto ambiental.

### **Específicos**

- Recopilar información sobre diferentes soluciones constructivas que sean conscientes del impacto ambiental que producen mediante una búsqueda de propuestas existentes para identificar sus características e implementarlas en el trabajo de investigación.
- Elaborar una propuesta de un panel que haga uso de tierra y madera que genere un bajo impacto ambiental a través del diseño de un prototipo con el fin de proponer un nuevo sistema constructivo que reduzca el impacto de una construcción.
- Comparar las características del sistema constructivo propuesto con el sistema constructivo convencional mediante la evaluación del impacto ambiental que genera cada uno.

## **METODOLOGÍA**

El presente proyecto se conformará por tres metodologías. La primera, de carácter cualitativo, consistirá en la revisión bibliográfica de artículos, tesis y libros digitales publicados que aborden tres ejes temáticos: materiales sostenibles que puedan ser empleados en construcción, métodos constructivos que hagan uso de materiales constructivos ecológicos y construcciones existentes que hayan sido realizadas pensando en el impacto ambiental que generan. La información será extraída de las bases digitales principalmente de la Universidad

Católica de Cuenca, y los artículos, tesis y libros digitales a utilizar deberán haber sido publicados en un periodo entre el 2017 y el 2023.

El empleo de esta metodología permite la realización del primer objetivo específico que consiste en la recopilación de casos en donde se haya propuesto un método constructivo diseñado con conciencia ambiental para realizar un análisis del impacto ambiental, que métodos producen en términos de energía y residuos.

La segunda metodología es la elaboración de una propuesta constructiva que combine los métodos constructivos antes mencionados. Esta metodología nos ayuda al cumplimiento del segundo objetivo específico que busca la elaboración de una propuesta como una alternativa ecológica al sistema constructivo convencional, ya que está diseñada para reducir el impacto ambiental negativo al utilizar recursos renovables.

La tercera metodología a implementar será el modelo de evaluación de Conesa Fernández, una herramienta para valorar el impacto ambiental de algún proyecto constructivo. Este modelo de matriz se compone de dos dimensiones: el impacto y el factor ambiental. Su aplicación permitirá alcanzar el tercer objetivo específico de la investigación, que consiste en posicionar el nuevo método constructivo propuesto como una alternativa sostenible frente al sistema constructivo convencional. Para ello, se analizarán las características ambientales de ambos sistemas refiriéndose a la energía requerida y a la cantidad de desechos que produce.

# CAPÍTULO 1

## MARCO TEÓRICO

Determinar el impacto ambiental es importante porque permite conocer el efecto que la influencia que las actividades antropogénicas tienen sobre el medio ambiente, siendo importante para poder tomar medidas que fomenten el avance hacia un futuro más sostenible.

### **1.1. Impacto Ambiental**

El impacto ambiental (IA) se refiere a todo efecto desfavorable que las actividades humanas generan sobre los diversos ecosistemas, el clima y sus comunidades. Estos efectos pueden ser provocados por diversos factores, como la sobreexplotación de la riqueza natural, etc (André et al., 2004).

#### ***1.1.1 Impacto ambiental positivo***

Las iniciativas ambientales sostenibles tienen el potencial de mejorar significativamente la calidad del factor ambiental, impactando positivamente a una gran parte del área circundante (Cipponeri, 2019)

#### ***1.1.2. Impacto ambiental negativo***

El impacto ambiental negativo alude directamente a lo que es degradación ambiental, que asume la polución de la calidad ambiental (Vera & Caicedo, 2014)

### **1.2. Impacto ambiental en la construcción**

El consumo energético en la construcción convencional se debe a tres factores principales: la necesidad de calentar o enfriar las instalaciones de fabricación, la maquinaria usada en la producción de materiales y su transporte. Las fuentes de energía para la fabricación de estos materiales son principalmente de origen fósil, como el gas natural, el fuel, el coque o el

carbón. La combustión de estas fuentes produce gases que calientan el planeta. Las emisiones de dichos gases asociadas a la construcción convencional contribuyen de forma perjudicial al cambio climático, para minimizar el daño ambiental causado por la construcción convencional, es necesario utilizar materiales de construcción con un menor consumo de energía y que se fabriquen con fuentes de energía renovables, es importante optimizar la eficiencia en términos energéticos de las instalaciones de fabricación y movilización de los materiales (Díaz, 2022)

### **1.3. Metodologías para evaluar el impacto ambiental en la construcción**

Existen varias metodologías para la realización de dicho proceso, como la matriz de Conesa Fernández, un método de corte analítico que involucra la matriz de Leopold y el método Batelle-Columbus que identifican los impactos significativos presentes, permitiendo asignar la importancia (I) a cada impacto ambiental posible desde la planificación hasta la operación, (Bustamante, 2022)

La matriz de Conesa Fernández es una herramienta que se ha utilizado para estudiar las huellas ambientales de los proyectos de construcción, explotación minera, agricultura y energía. La matriz se ha utilizado en proyectos emblemáticos como la expansión de la agricultura en la Amazonía brasileña y la construcción de un parque eólico en la costa de España. La flexibilidad de la matriz la convierte en una herramienta versátil que puede ser adaptada a diversos proyectos. (Bustamante, 2022)

#### ***1.3.1. Matriz de Conesa Fernández***

Una vez identificadas las actividades a ejecutar, se realiza una evaluación tomando como referencia una puntuación que permite identificar los puntos críticos que son aquellas actividades

que tienen un mayor potencial de causar impacto ambiental negativo y así poder plantear estrategias de gestión ambiental, para mitigar el impacto que estas actividades producen.

Los impactos ambientales como aquellos cambios que experimenta un parámetro ambiental en un periodo y área específicos. Estos cambios se identifican al comparar las condiciones del área donde se ejecuta el proyecto y la situación hipotética de no haberse realizado el proyecto. En otras palabras, las alteraciones notables en el entorno como resultado de la actividad humana se considera un impacto ambiental. La ecuación se calcula multiplicando cada factor por un valor numérico. Los valores numéricos se asignan de acuerdo con una escala de importancia, una vez calculados todos los factores, se suman para obtener la importancia del impacto ambiental (Bustamante, 2022)

### **Ecuación 1**

Importancia de un impacto ambiental

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Dónde:

I = Importancia del impacto

$\pm$  = Naturaleza del impacto.

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos.

La ecuación es flexible y se puede adaptar a las necesidades específicas de cada proyecto o actividad, sin embargo, la ecuación también tiene algunas desventajas. Una desventaja es que la ecuación puede ser subjetiva, ya que la asignación de valores numéricos a los factores depende del juicio del evaluador. Otra desventaja es que la ecuación no tiene en cuenta los efectos sinérgicos de los impactos ambientales. La ecuación I se deriva utilizando el modelo presentado en la tabla 1

**Tabla 1**

## Valoración numérica de criterios de impacto ambiental

Naturaleza (NA)	positivo	+	Sinergia (SI)	Sin sinergia	1
	Negativo	-		Sinérgico	2
Intensidad (I)	Bajo	1	Recuperabilidad (RE)	Muy sinérgico	4
	Medio	2		Inmediato	1
	Alto	4		Media	2
	Muy alto	8		Mitigable	4
Extensión (EX)	Puntual	1	Efecto (EF)	Irrecuperable	8
	Parcial	2		Indirecto	1
	Extensa	4	Acumulación (AC)	Directo	4
	Total	8		Simple	1
Momento (MO)	Largo	1	Periodicidad (PE)	Acumulativo	4
	Medio	2		Irregular	1
	Inmediato	4		Periódico	2
Persistencia (PR)	Fugaz	1	Reversibilidad (RV)	Continuo	4
	Temporal	2		Corto	1
	Permanente	4		Mediano	2
				Irreversible	4

*Nota.* Fuente: Torres et al., (2021).

Para utilizar la matriz, primero se deben identificar los componentes ambientales que pueden verse afectados por el proyecto o actividad. Estos componentes pueden incluir componentes del medio ambiente, desde lo natural hasta lo sociocultural. Una vez que se han identificado los componentes ambientales, se deben identificar las consecuencias ambientales que pueden causar las diferentes acciones. Estos impactos pueden ser perjudiciales o beneficiosos, y pueden ser directos o indirectos. Para cada impacto ambiental, se debe asignar una calificación de importancia. Las calificaciones de importancia tienen su fundamento en una serie de factores, como la magnitud del impacto, la duración del impacto, la posibilidad de que se concrete el impacto y la reversibilidad del impacto (Bustamante, 2022)

En la tabla 2 se detallan las valoraciones para asignar la calificación de los impactos ambientales en la matriz de Conesa Fernández, la cual se emplea con la finalidad de analizar el alcance ambiental de una actividad. La evaluación se basa en tres criterios: magnitud, reversibilidad y significancia del impacto.

## Tabla 2

### Interpretación de resultados

Valor I Ponderado	Calificación	Categoría
< 2,5	BAJO	
2,5≥ <5	MODERADO	
5≥ <7,5	SEVERO	
≥ 7,5	CRITICO	

Nota. Fuente: Bustamante, (2022).

### 1.3.2. Criterios de evaluación

A continuación, se definen los criterios de evaluación para realizar la matriz de Conesa Fernández.

**Signo:** hace alusión a la naturaleza positiva (+) o negativa (-) de las diferentes acciones que impactarán en los distintos parámetros. (Bustamante, 2022)

**Intensidad IN:** Magnitud de la consecuencia de una acción sobre un factor en un entorno determinado. Se evalúa en una escala del 1 al 12, donde 12 indica la destrucción total del factor y 1 un impacto leve. (Bustamante, 2022)

**Extensión EX:** Zona teórica donde se espera que el proyecto tenga un impacto, considerando el entorno del mismo. (Bustamante, 2022)

**Momento MO:** Se refiere al lapso transcurrido desde que se inicia una acción ( $t_0$ ) hasta que se observa su efecto ( $t_j$ ) en un factor ambiental específico (Bustamante, 2022)

**Persistencia PE:** Indica la duración del efecto, desde su inicio hasta que el factor afectado regresa a su estado original previo a la acción. Este retorno puede ocurrir de forma natural o gracias a la aplicación de medidas para mitigar el daño. (Bustamante, 2022)

**Reversibilidad RV:** La capacidad de volver a su estado original antes de la intervención. Esto significa que, después de concluida la acción, el factor puede recuperarse de manera natural, sin necesidad de intervención humana. (Bustamante, 2022)

**Recuperabilidad MC:** La posibilidad de que este regrese a su estado original después de que una acción haya dejado de actuar sobre él (Bustamante, 2022)

**Sinergia SI:** La acción simultánea de las acciones que los provocan genera un resultado mayor al que se obtendría si las acciones se ejecutaran de forma independiente (Bustamante, 2022)

**Efecto EF:** los cambios que experimenta el efecto derivado de una acción realizada (Bustamante, 2022)

**Periodicidad PR:** Mide la frecuencia con la que se observa el efecto, determinando si este se presenta de forma regular o irregular, o si es permanente (Bustamante, 2022)

### Tabla 3

Calificación de impactos ambientales

Valor I (13 y 100)	Calificación	Significado
< 25	BAJO	La afectación del mismo es irrelevante en comparación con los fines y objetivos del Proyecto en cuestión
25 ≤ < 50	MODERADO	La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.
50 ≤ < 75	SEVERO	La afectación de este, exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras. El tiempo de recuperación necesario es en un periodo prolongado
≥ 75	CRITICO	La afectación del mismo, es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. NO hay posibilidad de recuperación alguna.

Nota. Fuente: Bustamante, (2022).

Dado que cada elemento del medio ambiente posee una influencia individual, es crucial ponderar su importancia relativa para comprender mejor el impacto general en el ecosistema. (Bustamante, 2022)

#### **1.4. Materiales constructivos ecológicos**

Para evitar repercusiones ambientales negativas, se hace indispensable replantear los materiales, métodos de extracción y producción utilizados en el sector construcción. A esto se suma el empleo de herramientas que propendan la mitigación de las consecuencias ambientales de las construcciones partiendo desde la idea hasta la obtención del material necesario para su ejecución. En este contexto, surge la bioconstrucción como alternativa a la construcción tradicional, misma que se conceptualiza como la creación de entornos sanos, cómodos y acogedores a partir de recursos naturales con un mínimo impacto ambiental, tales como: la tierra, la madera y la paja. (Hernández et al., 2021)

Podemos clasificar los materiales de construcción ecológicos en tres grupos que son: tierra, materiales leñosos y fibras naturales.

##### ***1.4.1. Tierra***

Recurso abundante en amplias superficies del planeta con una disponibilidad viable y en condiciones de obtenerse a poca distancia de los sitios donde se usará, con un impacto ambiental mínimo, reduciendo emisiones y costos. (Guerrero, 2018)

##### ***1.4.2. Materiales Leñosos***

Los materiales leñosos son aquellos recursos naturales provenientes de especies arbóreas, arbustivas o matorrales que son seleccionados y utilizados por las sociedades para satisfacer

necesidades concretas. Entre sus cualidades priman la fuerza, durabilidad y versatilidad en construcción, fabricación y decoración. (Fermé, 2013)

### 1.4.3. Fibras Naturales

Material de construcción milenario presente desde la etapa prehistórica, presentando numerosas ventajas ecológicas, estas fibras son renovables y provienen de recursos naturales, lo que reduce la dependencia de materiales no renovables como el plástico o el metal. (Sendra, 2020)

En la tabla 4 se organiza de manera sistemática la agrupación de materiales de construcción y sus subclasificaciones en relación de su impacto ambiental.

**Tabla 4**

#### Materiales de construcción ecológicos

Tierra	Adobe	El adobe es un material de construcción que se elabora con tierra moldeada y secada al sol. Es un material natural, abundante y ecológico, y a que no contiene sustancias tóxicas y se puede reintegrar a la naturaleza al finalizar su vida útil. El adobe se puede obtener fácilmente de manera local, lo que reduce las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al transporte. Además, la construcción con adobe requiere poca energía, ya que no se necesitan altas temperaturas para su elaboración. Por último, la obtención de adobe no genera impactos ambientales negativos, como la deforestación o la minería extractiva, que sí se asocian a otros materiales de construcción <sup>a</sup>
	Bahareque	El bahareque es una técnica de construcción tradicional que utiliza tierra como material principal. Se caracteriza por su sostenibilidad, ya que emplea recursos naturales y renovables, y por su accesibilidad, siendo una técnica relativamente fácil de aprender y aplicar incluso sin experiencia previa. Sin embargo, a pesar de su larga trayectoria y sus ventajas ambientales, aún no se ha profundizado lo suficiente en el estudio del impacto ambiental del bahareque <sup>b</sup>
	BTC	Los bloques de tierra comprimida (BTC) son una opción innovadora y responsable con el medio ambiente en el ámbito de la construcción. Estos bloques se fabrican a partir de tierra, un material natural y abundante, y se comprimen sin necesidad de cocción ni aditivos químicos <sup>c</sup>
Materiales Leñosos	Madera	La madera reina como el material de construcción renovable más popular. Se le considera renovable de "ciclo largo" porque los árboles usados para su construcción tardan en promedio 25 años en rebrotar <sup>d</sup>
	Bambú	El bambú se destaca como una alternativa natural de gran potencial, atrayendo la mirada del sector por sus múltiples bondades <sup>e</sup>
Fibras	Paja	La paja son un material de construcción sostenible que se puede utilizar como elemento estructural, relleno o material aislante. Las pacas de paja son un buen aislante térmico, por lo que pueden contribuir a mantener la temperatura óptima dentro de un edificio. Además, las pacas de paja requieren menos energía para su producción y transporte que los materiales convencionales de construcción <sup>a</sup>
	Cáñamo	La fibra de cáñamo es un material con grandes propiedades que puede utilizarse en la construcción. Una de sus aplicaciones más innovadoras es el hempcrete, una mezcla de cañamiza y cal que forma un bloque resistente y ligero. El hempcrete tiene propiedades que lo hacen una alternativa viable a los materiales de construcción convencionales <sup>f</sup>
	Cabuya	La cabuya es una planta que se utiliza en la producción de fibras y cuerdas, y su impacto ambiental depende de varios factores, como la forma en que se cultiva y procesa. Algunos estudios han evaluado el impacto ambiental de la producción de la cabuya y han encontrado que, en general, es bajo <sup>g</sup>

Nota. <sup>a</sup> Hernández et al., (2021), <sup>b</sup>Laestander, (2021), <sup>c</sup>Cabrera et al., (2020), <sup>d</sup>Borsani, (2011), <sup>e</sup>Salés et al., (2020), <sup>f</sup>Pérez & Alejandra, (2023), <sup>g</sup>Fernández & Sostenible, 2(023).

## 1.5. Sistema constructivo convencional en Ecuador

La tabla 5 presenta una descripción sistemática de la repercusión medioambiental de los materiales convencionales empleados en el contexto ecuatoriano

**Tabla 5**

### Materiales de construcción convencionales

---

Convencionales	Acero	La producción de hierro y acero es una de las industrias más contaminantes del mundo, y a que genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ). Esto se debe a que la producción de hierro y acero es un proceso intensivo en energía, que requiere grandes cantidades de combustible, principalmente carbón. El carbón es una fuente de energía con un alto contenido de carbono, por lo que su combustión libera CO <sub>2</sub> a la atmósfera, en 2021, la producción de hierro y acero representó el 27 % de las emisiones de CO <sub>2</sub> del sector manufacturero mundial, o alrededor del 10 % del total de las emisiones mundiales de CO <sub>2</sub> <sup>a</sup> .
	Bloque	La cantidad de contaminación generada por la producción de bloques de concreto depende de una serie de factores, como el tipo de cemento utilizado, el proceso de producción y el transporte. Sin embargo, en general se considera que es un material con un impacto ambiental significativo. Según un estudio del Instituto de Recursos Mundiales,
	Hormigón	Un material omnipresente en la construcción, genera una huella ambiental considerable por la alta cantidad de CO <sub>2</sub> emitida durante la producción del cemento, un elemento clave en su composición <sup>c</sup> (Madrid et al., 2022).

---

Nota. <sup>a</sup> Iannuzzi & Frankel, (2022), <sup>b</sup> Purnell, (2015), <sup>c</sup>Madrid et al., (2022).

## 1.6. Caracterización de materiales de construcción ecológicos

### 1.6.1. Adobe

El adobe, como material de construcción, presenta un reducido consumo de energía en relación con otros materiales, ya que no requiere maquinaria ni aditivos químicos para su elaboración. Esta característica lo convierte en una alternativa atractiva desde la arista energética. Sin embargo, es menester considerar que su ciclo vital completo, desde la extracción hasta su colocación en la obra, puede representar en el medio ambiente un impacto negativo. (Alvarado, 2021)

### **1.6.2. Bahareque**

En un estudio sobre la construcción en bahareque en la vereda La Honda del municipio de Aranzazu, Caldas, identificaron y determinaron los impactos ambientales asociados a las particularidades de un proyecto específico. La disposición irresponsable de residuos en lugares no aptos genera una variedad de impactos ambientales, entre ellos la contaminación del suelo, aire y agua. El estudio evidenció que, si bien la actividad humana genera alteraciones en los componentes de suelo, agua, flora, fauna y aire, estas no son lo suficientemente significativas, altas o persistentes como para impedir la regeneración natural. (Alzate & Osorio, 2015)

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el proceso constructivo del bahareque implica la extracción de materiales como la madera y el material de río, lo que puede tener un impacto ambiental si no se realiza de manera sostenible y responsable. (Alzate & Osorio, 2015)

En este sentido, se hace necesario tomar medidas para garantizar que el proceso constructivo del bahareque se realice de manera que respete el medio ambiente, con el fin de minimizar su impacto ambiental. (Alzate & Osorio, 2015)

Se debe considerar también que el bahareque puede alterar negativamente el medio ambiente, la extracción de tierra para su fabricación puede causar degradación en el suelo y la pérdida de la biodiversidad local. Además, el proceso de fabricación, que implica la mezcla de tierra, agua y otros materiales, pueden contaminar el agua y el aire. (Alzate & Osorio, 2015)

### **1.6.3 BTC**

Los procesos semi-mecanizados y mecanizados generan impacto ambiental en su producción, establecen que la táctica de mezclado utilizando una máquina revolvedora es la responsable de más de la mitad del impacto ambiental que producen los BTC debido a la

obtención y combustión de combustible que utiliza produciendo emisiones de gases afines al efecto invernadero, que evidentemente contribuyen a problemas ambientales e inherentemente al cambio climático. (Roux & Velázquez-Lozano, 2016)

El proceso de fabricación de bloques de tierra comprimida BTC tiene un impacto menor a otros materiales utilizados en la construcción convencional como el hormigón y el acero, los bloques de tierra comprimida se componen de tierra de excavaciones. (Roux & Velázquez-Lozano, 2016)

#### ***1.6.4. Madera***

La madera, como material natural y renovable, ofrece una alternativa sostenible a otros materiales de construcción. A diferencia de los recursos minerales que se agotan con la extracción, la madera puede ser replantada y cosechada de forma cíclica, garantizando la supervivencia del bosque. Además, su naturaleza no tóxica y biodegradable la transforma en una opción más armónica y respetuosa con el medio ambiente, ya que su descomposición enriquece el suelo. (Matheus, 2022)

La utilización de madera de bosques con gestión responsable fomenta la recuperación de la biodiversidad local, desarrollo y desenvolvimiento, de las localidades y comunidades que dependen de este proceso. El impacto ambiental que produce la madera puede depender de su forma de extracción, si se realiza de una manera responsable la afección ambiental disminuirá en comparación con la adquisición del material de manera indiscriminada. (Matheus, 2022)

### **1.6.5. Bambú**

El bambú, por su rapidez de crecimiento y su facilidad de cultivo, se consolida como la planta de más rápido crecimiento el mundo, lo que la convierte en un recurso sostenible y renovable. (Peciña, 2023)

El desarrollo del bambú propicia la absorción de nutrientes del subsuelo, transportándolos hacia la superficie y poniéndolos a disposición de otras especies vegetales. Sin embargo, el bambú y su cadena productiva están alineados a los principios de sostenibilidad, y al elegir el bambú como material de construcción se apoya el cultivo del mismo, se disminuye la deforestación, se promueve el desarrollo de un medio de vida sostenible para la población rural, y se genera empleo de manera justa y equitativa. (Trujillo, 2021)

### **1.6.6. Paja**

La paja es un material que no libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera ni tampoco otros gases nocivos para la atmósfera, sino que se alimenta de elementos que transforman el CO<sub>2</sub> del aire, por medio de la fotosíntesis, también indica que, si se considera la absorción de CO<sub>2</sub> durante la fotosíntesis, el impacto ambiental de la paja es inferior al de otros materiales de construcción. (Martínez, 2019)

### **1.6.7. Cáñamo**

El cáñamo es una planta que trabajada y cultivada por el ser humano desde hace milenios. Se ha utilizado para diversos fines, como la alimentación humana y animal, la producción de fibras y también en la medicina. En España, se han creado instituciones públicas para fomentar su cultivo y producción, como la Real Comisión del Cáñamo de Granada & la Real Fábrica de Lino y Cáñamo de Nueva España. (Alonso, Sánchez, & Tirija, 2022)

### ***1.6.8. Cabuya***

La fibra de penco se consigue extrayéndose de la planta de Agave americana mediante un proceso por etapas que incluye despenque, machacado, cocción, secado y clasificación. Este material presenta un gran potencial para la elaboración de materiales compuestos, debido a su disponibilidad, biodegradabilidad y propiedades mecánicas. Las hojas de mayor tamaño albergan una riqueza de fibra que permite extraer más material con menos plantas, optimizando el proceso. (Prina, Velasco, Chachapoya, & Paredes, 2020)

El periodo de desarrollo de la planta antes de ser despencada es de aproximadamente 5 años. Si la cabuya se obtiene de bosques certificados con normas de gestión forestal sostenible, puede asegurar que se está extrayendo de manera responsable y que se está promoviendo la sostenibilidad en la gestión de los bosques. (Prina, Velasco, Chachapoya, & Paredes, 2020)

## **1.7. Caracterización de materiales de construcción convencionales**

### ***1.7.1. Acero***

La producción del acero ha sido a lo largo de los años uno de los principales impulsores de CO<sub>2</sub> atmosférico y ha generado otros impactos ambientales negativos. Su proceso de fabricación libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> al quemar coque de carbón, la producción de este material de construcción, a pesar de ser altamente reciclable, requiere grandes cantidades de materias primas lo que genera una afección en el medio ambiente. (Rojas, 2023)

La industria siderúrgica genera una variedad de residuos, como escoria, polvo, lodos y cenizas, residuos que pueden contener múltiples contaminantes como metales pesados. La escoria es un residuo sólido que se produce cuando la cal se combina con la fundición del mineral de hierro y ciertas impurezas presentes en el carbón. (Rojas, 2023)

La escoria puede reutilizarse en diversas construcciones civiles como las de carreteras, y la producción de adoquines y bloques. Gran parte de los residuos sólidos obtenidos en el procesamiento del acero pueden ser evaluados para una posterior reutilización. (Rojas, 2023)

### ***1.7.2. Bloque***

Un bloque de concreto es un mampuesto prefabricado usado en la construcción de muros. Está hecho de finos hormigones, confitillos o morteros de cemento y tiene forma prismática con tamaños normalizados. (Parvina, 2020)

### ***1.7.3. Hormigón***

La producción de hormigón tiende a ser un generador descomunal de emisiones de CO<sub>2</sub> al entorno y por ende a la atmósfera. Este proceso libera dicho gas, debido al calentamiento de materias primas como el cemento, el agua y los áridos a altas temperaturas. La industria cementera, por consecuencia, es responsable de al menos el 8% de las muestras totales a nivel mundial de CO<sub>2</sub>, lo que la convierte en la tercera fuente de emisiones más importante del planeta, después de la producción de energía y el transporte. (Pescador, 2022)

Además del impacto en el aire, la fabricación de hormigón también afecta negativamente al agua. También menciona que el proceso de producción utiliza sustancias químicas como compuestos químicos del calcio que pueden ocasionar daños considerables en la vida acuática. (Pescador, 2022)

## **1.8. Huella ecológica de los materiales de construcción: consumo energético y generación de residuos**

### ***1.8.1. Demanda energética de los materiales de construcción***

El mayor reto de la humanidad es adaptarse al cambio climático y combatirlo, este fenómeno es producido por procesos de industrialización que consumen grandes cantidades de energía proveniente de fuentes fósiles y que producen emisiones significativas de contaminantes atmosféricos. Sobre lo explicado por United Nations Environment Programme UNEP que en español se traduce como “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente” (2013). (González, 2022)

La medición de la energía incorporada o energía embebida es una herramienta utilizada para evaluar el consumo de energía en el transcurso del proceso de fabricación de materiales. En esta etapa de producción de materiales se evidencia un eslabón fundamental en el proceso de construcción, donde se define el impacto ambiental y energético de la obra (González, 2022)

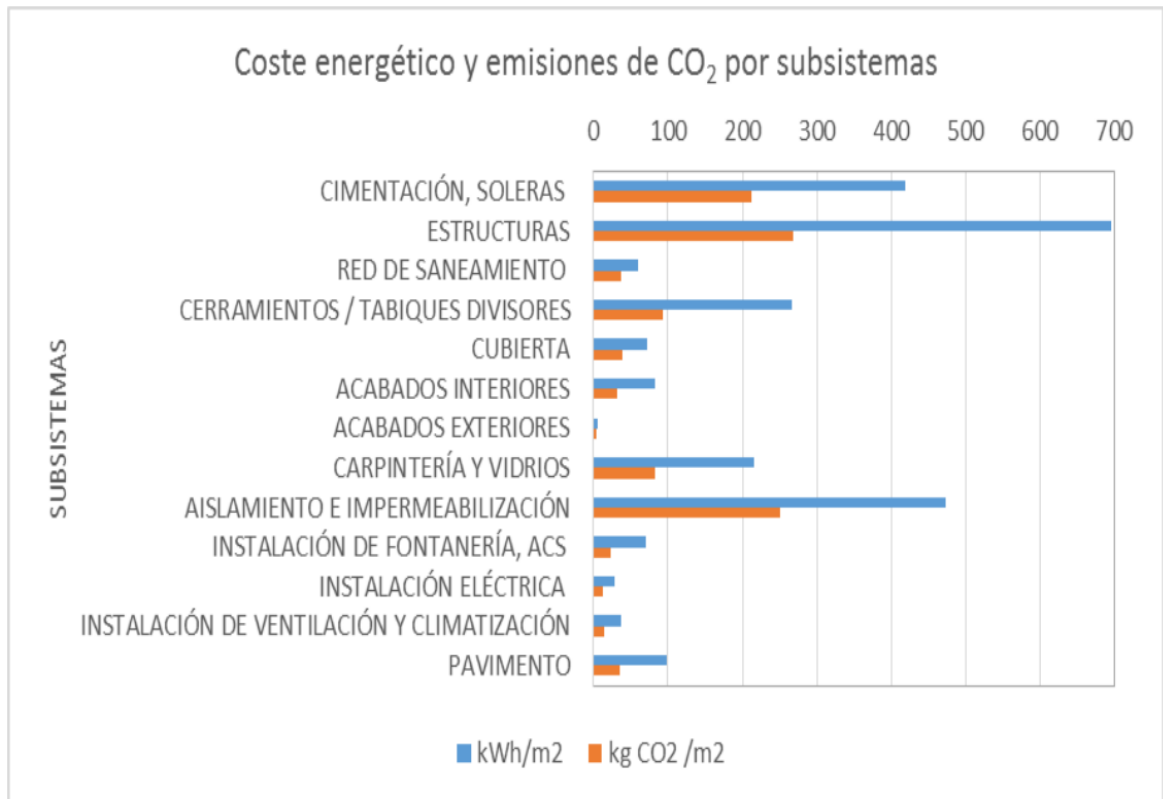
#### **1.9.1.1 Calculo de energía en los materiales de construcción**

El consumo de energía en los materiales de obra se mide a través de la energía incorporada o embebida. Esta medida cuantifica el volumen de energía necesaria para confeccionar un material, desde la transformación de materia prima a elemento constructivo y transporte al sitio de construcción.

También se considera la energía necesaria para su instalación final en la edificación. La energía incorporada se representa en unidad de energía por unidad de masa, como MJ/kg, esta medida permite comparar el volumen de energía requerido para la producción de diferentes materiales y elegir aquellos que tengan una menor energía incorporada. (González, 2022)

**Figura 1**

Energía Incorporada (fabricación y extracción de materiales)



Nota: es posible consultar los datos del coste energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de la construcción convencional adaptado de “Energía Incorporada (fabricación y extracción de materiales)” [Graficas] por C. Quispe, 2016 <https://aie.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/10/Quispe-Gamboa-ClaudiaNataly.pdf> Dominio público.

Para calcular la energía incorporada de un material, se deben conocer los coeficientes de energía incorporada de cada uno de los elementos constructivos. Estos coeficientes se pueden obtener de bases de datos reconocidas a nivel mundial, como la del “Centre of Building Performance de la Universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda”. (González, 2022)

**Tabla 6**

Energía incorporada de materiales primarios

Material	kJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Madera	10-15	60-90
Hormigón	140-220	840-1320
Acero	200-300	1200-1800
Ladrillo	100-150	600-900
Piedra	200-300	1200-1800
Asfalto	20-40	120-240
Cemento	320-420	1920-2520
Arena	12-20	72-120
Grava	12-20	72-120

Fuente: Alcorn, A. (2003). Embodied energy and CO2 coefficients for NZ building materials. Wellington: Centre For Building Performance Research. Victoria University of Wellington.

**Tabla 7**

Energía incorporada de materiales secundarios

Material	kJ/kg	MJ/m <sup>3</sup>
Madera contrachapada	120-180	720-1080
Tableros de fibra de densidad media (MDF)	120-180	720-1080
Tableros de fibra de densidad ultra alta (UHDF)	180-240	1080-1440
Paneles de yeso	120-180	720-1080
Ladrillos cerámicos	120-180	720-1080
Ladrillos de hormigón	140-220	840-1320
Tejas de hormigón	140-220	840-1320
Tejas de cerámica	120-180	720-1080
Aislamiento de espuma	10-20	60-120
Aislamiento de fibra de vidrio	12-20	72-120
Aislamiento de celulosa	12-20	72-120

Fuente: Alcorn, A. (2003). Embodied energy and CO2 coefficients for NZ building materials. Wellington: Centre For Building Performance Research. Victoria University of Wellington.

Una vez que se tienen los coeficientes de energía incorporada de los materiales, se pueden calcular las cantidades de energía incorporada de cada uno de ellos, multiplicando el

coeficiente de energía incorporada por la cantidad de masa del elemento constructivo. La suma de las cantidades de energía incorporada de todos los insumos constructivos empleados dará como resultado la energía incorporada total de la edificación. Este cálculo permite comparar el consumo energético requerido para la elaboración de diferentes materiales y elegir aquellos que tengan una menor energía incorporada, generando soluciones para prácticas de construcción responsable con el medio ambiente. (González Calderón, 2022)

### ***1.8.2. Producción de residuos de los insumos constructivos***

La cantidad de residuos producidos por un material de construcción está sujeto a distintos factores, como: el proceso de demolición en sí, el tipo de estructura, y los sistemas de gestión ambiental utilizados. (Suárez et al., 2019)

#### **1.8.2.1 Cálculo de producción de residuos en los materiales de construcción.**

Para cuantificar los residuos producidos por un material de construcción, se pueden realizar mediciones y análisis de los residuos generados en una obra específica. También se pueden utilizar datos históricos de obras similares para determinar el volumen de residuos esperados en una nueva obra. Es importante tener en cuenta que la óptima gestión de desperdicios procedentes de la construcción y demolición es fundamental: la mitigación de su afección ambiental y la maximización de su valorización y aprovechamiento. (Suárez et al., 2019)

## CAPÍTULO 2

### ANÁLISIS DE PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS ECOLÓGICAS

#### 2.1 Análisis de casos de estudio

Resulta de gran importancia realizar un análisis de tres métodos constructivos ecológicos existentes para poder adoptar características, como el tipo de recursos fundamentales para la confección de la propuesta de sistema constructivo ambientalmente responsable.

##### 2.1.1. Caso de estudio

#### Tabla 8

##### Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 1

---

Nombre del método: Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca la flexibilidad en la construcción de vivienda	
Descripción del sistema constructivo	Este sistema combina técnicas constructivas tradicionales y sistemas prefabricados para desarrollar un sistema modular en el que se pueda implementar el uso de materiales alternativos a los convencionales, materiales amigables con el medio ambiente y de fácil obtención. Los materiales alternativos que se proponen en este estudio son de dos tipos, reciclados y naturales. Además, se utiliza un sistema de montaje en seco que permite la recuperación de los elementos constructivos y la adaptación a las cambiantes necesidades espaciales de sus habitantes. La propuesta busca reducir el impacto ambiental de la construcción mediante el uso de materiales alternativos y la implementación de técnicas constructivas más eficientes y flexibles.
Tipo de sistema constructivo	Montaje en seco
Materiales empleados	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Madera</li><li>○ Fibras naturales</li><li>○ Tierra</li></ul>
Impacto al medio ambiente	El impacto ambiental de la propuesta es positivo debido a que para su fabricación se utilizan técnicas de carpintería manuales lo que significa un consumo nulo de energía.

---

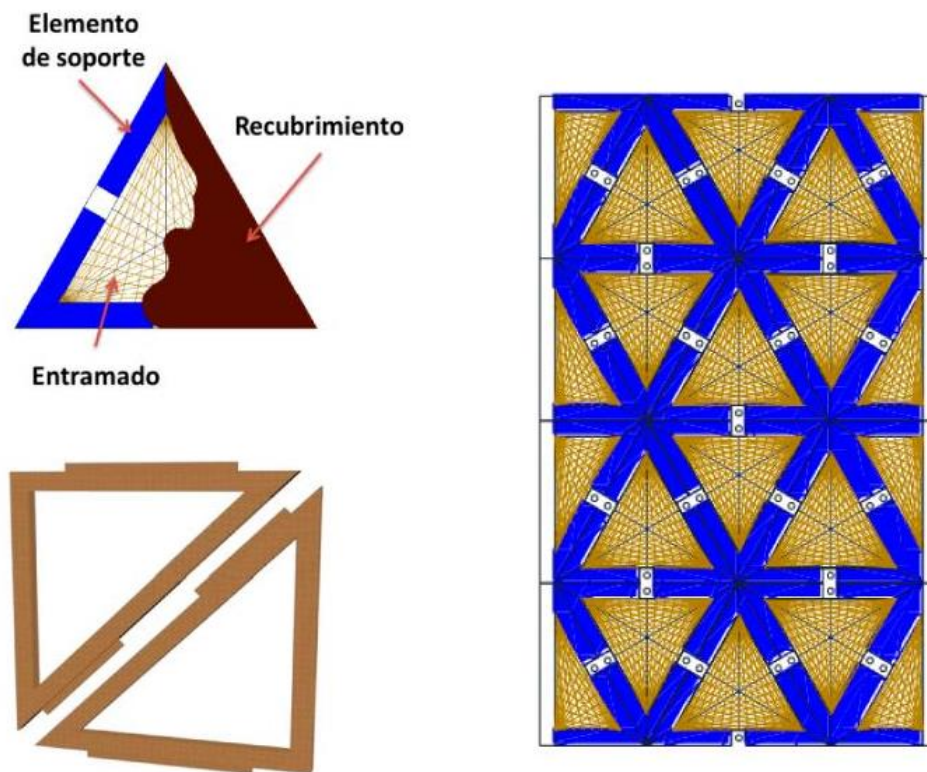
**Tabla 9**

Materiales empleados caso de estudio 1

Material	Consumo de energía para la fabricación en construcción	Residuos producidos durante construcción
Madera	20-25 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Fibras naturales	5 - 20 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Tierra	0,5 - 5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %

**Figura 2**

Solución constructiva caso de estudio 1



Nota: se muestra como se establecen las conexiones de los módulos adaptada a “Solución constructiva del método propuesto” por M. Andrade. 2015 <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/79937> Dominio público

### 2.1.2. Caso de estudio 2

**Tabla 10**

#### Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 2

Nombre del método: Bahareque de Bambú	
Descripción de la propuesta	La propuesta consiste en una reinterpretación del sistema constructivo tradicional de bahareque, incorporando el bambú como un sistema de refuerzo a la construcción. Se ha estandarizado el diseño del panel para su fácil implementación constructiva tanto en la vivienda rural como urbana, y se han considerado criterios más ecológicos tanto en la obtención de la materia prima, como en su producción, construcción y uso. El diseño y las dimensiones propuestas del módulo se alinearon a las típicas de materiales de la construcción en el mercado para que se puedan adaptar fácilmente entre las piezas y herrajes o que se pueda revestir con diversos acabados. El sistema se diseñó con dimensiones 1.22 x 2.44 m en formato vertical mediante un bastidor de bambú previamente tratado y una diagonal del mismo material como tensor y contraventeo.
Tipo de sistema constructivo	Módulo auto portante - Bahareque
Materiales empleados	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bambú</li> <li>○ Tierra</li> <li>○ Paja</li> <li>○ Esterilla de bambú</li> </ul>
Impacto ambiental	La propuesta tiene como objetivo incorporar criterios más ecológicos en la construcción de viviendas, tanto en la obtención de la materia prima como en su producción, construcción y uso. El uso de bambú como material de construcción tiene varias ventajas ambientales, ya que es una planta de rápido crecimiento que no requiere pesticidas ni fertilizantes químicos, y su cultivo puede ayudar a reducir la deforestación y la erosión del suelo.

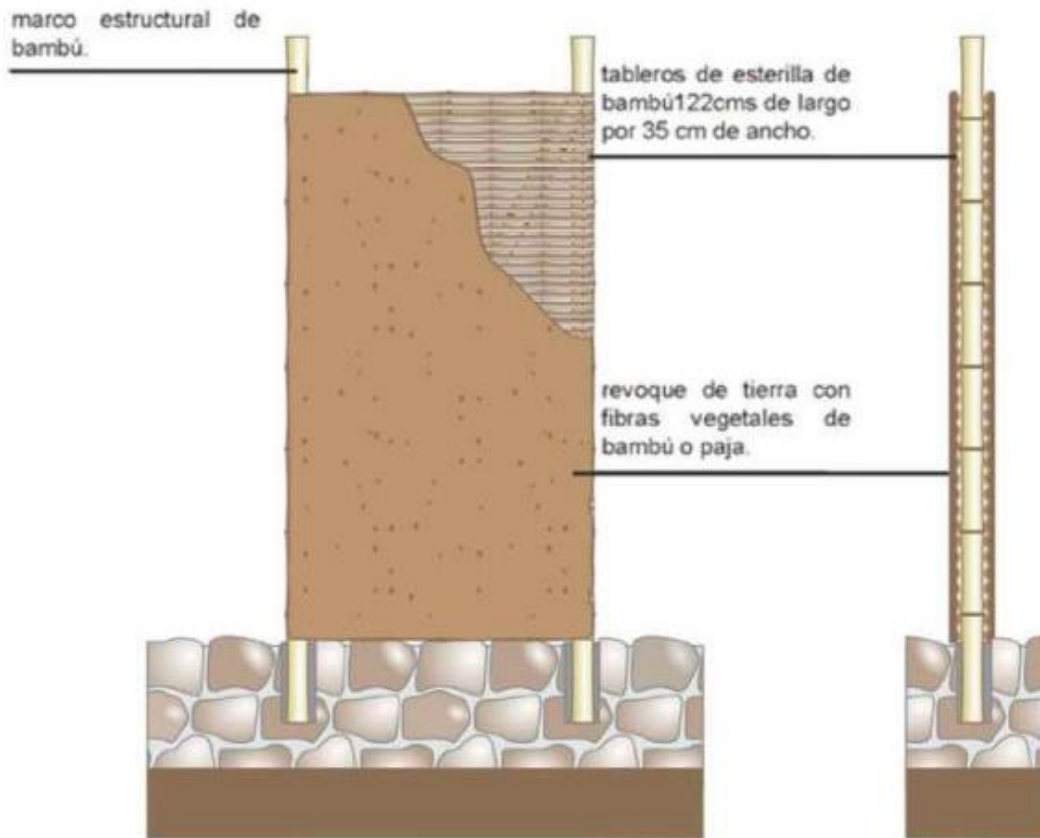
**Tabla 11**

#### Materiales empleados caso de estudio 2

Material	Consumo de energía para la fabricación en construcción	Residuos producidos durante construcción
Bambú	2-3 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Tierra	0,5 - 5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Paja	3-5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Esterilla de bambú	3-5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %

### Figura 3

#### Solución constructiva caso de estudio 2



*Nota:* se muestra la estructura del sistema constructivo propuesto adaptada a “Diseño modular, anclaje, dimensiones y características.” [Graficas] por C. Esparza, A. Cabrera, J. Torres, E. Tovar, & M. Elizondo 2022.  
[http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/9690/Estudios\\_de\\_arquitectura\\_bioclimatica\\_2022.pdf?sequence=1#page=199](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/9690/Estudios_de_arquitectura_bioclimatica_2022.pdf?sequence=1#page=199) lope Dominio público

### 2.1.3. Caso de estudio 3

**Tabla 12**

Métodos constructivos sostenibles: caso de estudio 3

Nombre del método: Modulo de bahareque prefabricado de madera	
Descripción de la propuesta	La propuesta consiste en la creación de paneles estructurales modulares de bahareque, que buscan establecer la modulación y estandarización en la construcción, reduciendo la contaminación en todos sus procesos. Se toma como punto de partida el rescate de los conocimientos arquitectónicos ancestrales del bahareque, transformados en una propuesta constructiva sencilla, con materiales al alcance de todos y que reduce el tiempo en la construcción y los costos.
Tipo de sistema constructivo	Panel estructural
Materiales empleados	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tierra</li> <li>○ Fibras naturales</li> <li>○ Loseta de madera prefabricada</li> <li>○ Hojas</li> <li>○ Madera</li> </ul>
Impacto ambiental	La propuesta tiene un impacto ambiental positivo, ya que reduce en un 80% la contaminación por emisiones de CO <sub>2</sub> ya que utiliza principalmente materiales locales y renovables, como la tierra y fibras naturales, que no generan contaminación y son biodegradables. Además, se utilizan materiales reciclados y reciclables, lo que reduce la cantidad de residuos y la necesidad de extraer nuevos recursos.

**Tabla 13**

Materiales empleados: caso de estudio 3

Material	Consumo de energía	Residuos
Tierra	0,5 - 5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Fibras naturales	5 - 20 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Loseta de madera prefabricada	10 - 20 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Hojas	0,5 - 5 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Caña gauda	10-15 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Malla de gallinero	2-3 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %
Madera	20-25 MJ/m <sup>2</sup>	1 - 5 %

## Figura 4

### Solución constructiva ejemplo 3



*Nota:* se muestra la estructura del sistema constructivo propuesto adaptada a “Solución constructiva”

[Graficas] por J. Astudillo, N. Vacacela 2015. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085964>

Dominio publico

La implementación de materiales ecológicos reduce significativamente el impacto ambiental de las construcciones, en los ejemplos descritos, los sistemas propuestos tienen tres parámetros en común que son la estructura, el relleno y el revoque.

La madera y el bambú son dos materiales utilizados con frecuencia en la construcción de estructuras. Si bien la madera tiene un impacto ambiental mayor que el bambú, ofrece una mayor flexibilidad en la construcción. Esto se debe a que la madera tiene una mayor variedad de propiedades mecánicas que el bambú, lo que permite adaptarla a diferentes necesidades estructurales.


En lo que se refiere a relleno los casos de estudio, hacen uso de fibras naturales, esterilla de bambú y hojas secas, es más común el empleo de fibras naturales para el relleno de una estructura debido a su abundancia en la naturaleza, el empleo de esterilla de bambú permite que el revoque pueda adherirse a la estructura, sin embargo, el empleo de hojas secas genera un impacto ambiental netamente positivo debido a que no se realiza ninguna actividad invasiva para su obtención. Los tres ejemplos descritos hacen uso de la tierra como revoque debido a la abundancia de este recurso natural y que proporciona distintos acabados, en el caso de estudio 2 la tierra es combinada con fibras naturales como la paja y fragmentos de bambú para aumentar la adherencia y resistencia del material.

## **2.2. Estudio de sostenibilidad de materiales de construcción**

En pos de estimar la huella ecológica de los materiales usados en las construcciones, en 2023, se realiza el análisis de cuatro categorías: tierra, materiales leñosos, fibras naturales y materiales convencionales. Para ello, se aplicó la matriz construida por Conesa Fernández, que permite obtener resultados precisos y comparables.

**Tabla 14**

Aplicación de la matriz de Conesa Fernández

		MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN												
		Naturaleza	In	Ex	Mo	Pe	Rv	Re	Si	Ac	Ef	Pr	Importancia	Impacto
Tierra	Adobe	Negativa -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	
	Bahareque	Negativa -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	
	BTC	Negativa -	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	23	
Materiales Leñosos	Madera	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25	
	Bambú	Negativa -	1	1	4	2	1	2	2	1	4	1	22	
	Paja	Negativa -	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	14	
Fibras	Cáñamo	Negativa -	1	1	1	1	1	2	2	1	4	1	18	
	Cabuya	Negativa -	1	1	1	1	1	2	2	1	4	1	18	
	Acero	Negativa -	4	4	4	4	4	8	4	4	4	4	56	
Convencionales	Bloque	Negativa -	4	2	2	2	2	4	4	1	4	2	37	
	Hormigón	Negativa -	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52	

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

Se coloca en dicha matriz los diferentes materiales descritos en las tablas 4 y 5 para la evaluación de su impacto ecológico tomando en consideración los criterios de puntuación de la tabla 1.

Como resultados se obtuvo que, los materiales de construcción a base de tierra, leñosos y fibras naturales tienen una calificación de impacto ambiental bajo, sin embargo, los materiales convencionales tienen una calificación moderado y severa.

En base a la tabla 3 podemos interpretar que los materiales que generan un bajo impacto ambiental tienen una afección irrelevante al medio ambiente, los materiales que producen un impacto moderado no requieren prácticas correctoras o protectoras intensivas, no obstante, los materiales con un impacto severo exigen la restauración de las condiciones ambientales empleando estrategias correctivas o protectoras.

En la tabla 2 se muestra la interpretación de las afecciones que producen los impactos ambientales de los diferentes materiales a través de colores, el impacto bajo es identificado por el color verde, el moderado por el color amarillo, el impacto severo por el color naranja y el impacto crítico por el color rojo.

## CAPÍTULO 3

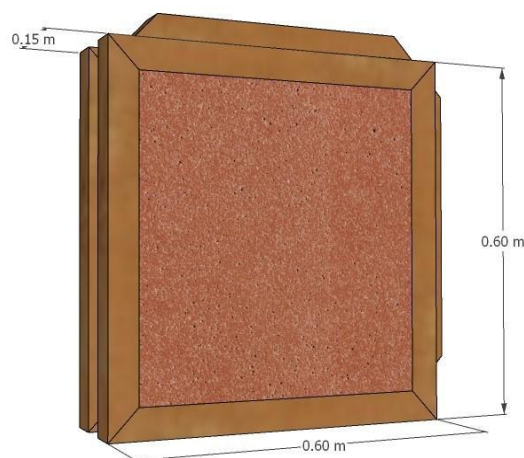
### DESARROLLO DE LA PROPUESTA CONSTRUCTIVA

#### 3.1. Descripción de la propuesta

Una vez analizadas las peculiaridades medioambientales de diversos materiales para la construcción, se propone un panel modular que cuenta con un esqueleto de madera como base estructural de 60cm x 60cm x 15cm , considerando que al trabajar con materiales como la tierra, el peso de la estructura aumenta, se optó por colocar un casetón de espuma Flex o polietileno de 50cm x 50 cm x 10 cm en el centro de la estructura con el objetivo de reducir el peso del módulo y a su vez facilitar el proceso de elaboración y transporte, se empleó también una malla de plástico reciclado que permita sujetarse a la parte interna de la estructura permitiendo también que el revoque de tierra se adhiera al módulo evitando que se desprenda, este revoque tendrá un espesor de 2,5 cm a cada lado del módulo.

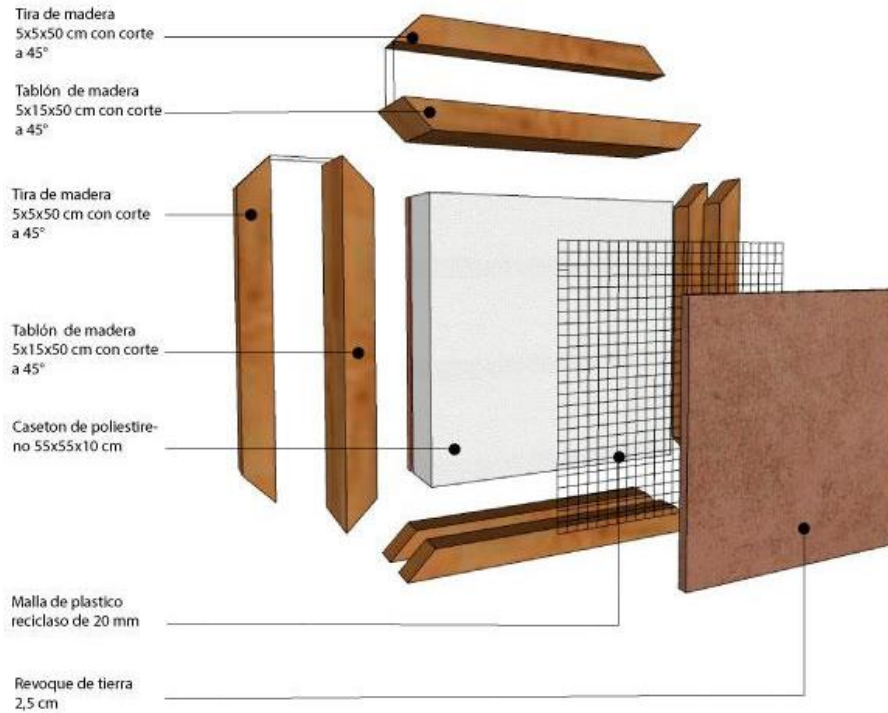
#### Figura 5

Propuesta de módulo constructivo



## Figura 6

### Despiece del módulo constructivo



#### 3.1.1 Estructura del módulo

Como se aprecia en la figura 6, la estructura está conformado por dos tablonces de madera de 5 x 15 x 55 cm con cortes a 45° en cada extremo y por 6 tiras de madera de 5 x 5 x 55 cm con destajes a 45°. Como se observa en la figura 7 la estructura fue diseñada de tal forma que los paneles puedan encajar unos con otros tanto horizontal como verticalmente con el fin de evitar desplazamientos. El panel está diseñado para integrarse en un sistema estructural de poste y viga.

#### 3.1.2 Relleno del módulo constructivo

Se hace uso de casetones de poli estireno expandido, también conocidos como casetones de espuma Flex debido a que este material permite que el módulo sea más ligero. El poli estireno expandido (EPS), también conocido como espuma de poli estireno, es un material plástico

espumado que presenta una gran versatilidad en su aplicación, incluyendo el aislamiento y el embalaje.

Según Martínez et al. (2016), el EPS tiene una serie de propiedades beneficiosas que lo hacen ideal para estas aplicaciones. Una de las principales características del EPS es que no tiene afinidad por el agua, por lo que la retiene en su superficie. De hecho, el EPS solo absorbe entre el 1% y el 3% de agua en volumen después de 28 días. Esta propiedad lo hace ideal para su uso en aplicaciones donde es importante que el material no se vea afectado por la humedad, como el aislamiento de edificios o el embalaje de productos sensibles a la humedad, además de su baja absorción de agua, el EPS también tiene una alta resistencia a la transmisión de calor, esto significa que es un buen aislante térmico, lo que ayuda a ahorrar energía y dinero en calefacción y refrigeración. El EPS también tiene un bajo coeficiente de absorción de humedad y de transmisión de vapor, lo que lo hace ideal para su uso en aplicaciones donde es importante que el material no se vea afectado por la humedad.

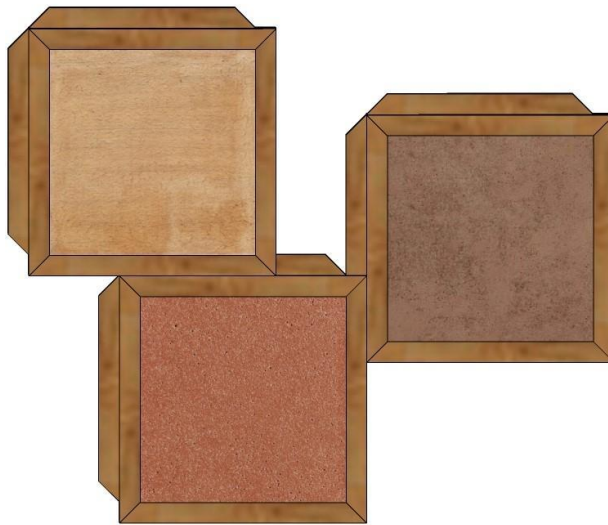
### **3.1.3 Recubrimiento o revoque de la propuesta constructiva**

Se decidió emplear la tierra adherida a una malla de plástico reciclado que minimiza el impacto ambiental de la propuesta. Como recubrimiento del módulo se emplea un revoque de tierra debido a que este material en particular es un producto local lo que reduce gastos energéticos en obtención y transporte, se plantea también la posibilidad de generar módulos de diversas tonalidades de tierra, como se observa en la figura 7, haciendo uso de colorantes naturales como el óxido de hierro que cuenta con una amplia gama de colores, desde el rojo hasta el negro, se puede obtener de minerales como la hematita, la limonita y la goethita, las antocianinas que son moléculas pigmentadas propias de las plantas se identifican por sus colores vivos, como el rojo, el azul y el morado, se pueden obtener de frutas, verduras y flores, el carbón

vegetal se puede utilizar para dar un color negro a la tierra, la arcilla se puede utilizar para dar un color marrón a la tierra, el café se puede utilizar para dar un color marrón oscuro a la tierra, el té se puede utilizar para dar un color marrón claro a la tierra, con el fin de modificar la tonalidad del material obteniendo así una enriquecida propuesta estética debido a las posibilidades que esto genera al momento de hacer unos del método constructivo.

### **Figura 7**

Sistema de encaje entre los módulos



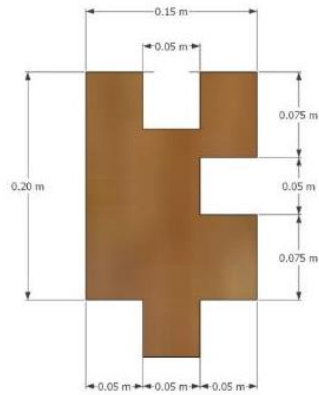
## **3.2 Solución constructiva para mampostería**

### ***3.2.1. Solución constructiva para uniones en "T"***

Para poder solucionar las uniones en "T" se implementa un elemento de madera que cumple la función de encajar las piezas y dar la posibilidad de agregar un tercer elemento en diferente dirección.

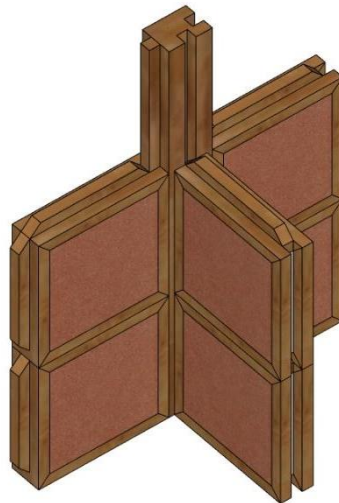
**Figura 8**

Solución constructiva para uniones en “T”



**Figura 9**

Ejemplificación de unión en “T”

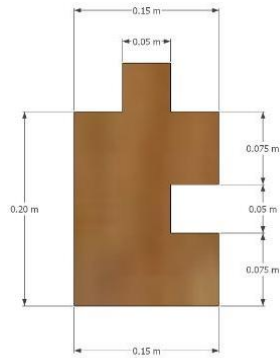


### ***3.2.2. Solución constructiva para uniones en “L”***

Al igual que en la unión “T”, para la unión en “L” se generó un elemento complementario que permita generar el cambio de dirección en la mampostería aprovechando el diseño del módulo para encajar las piezas.

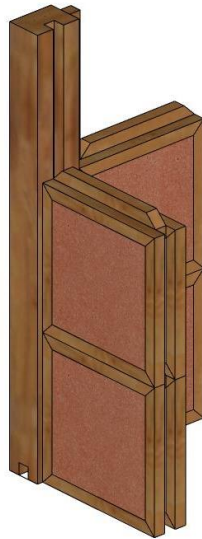
**Figura 10**

Solución constructiva para uniones en “L”



**Figura 11**

Ejemplificación de unión en “L”



### **3.3. Evaluación de la sostenibilidad ambiental de los materiales de construcción**

A través de la aplicación del modelo de matriz propuesto por Fernández-Vitora evaluaremos el efecto ambiental provocado por los materiales utilizados en la ejecución del proyecto constructivo propuesto.

**Tabla 15**

Impacto ambiental de los materiales de la propuesta presentada

	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN											Importancia	Impacto
	Naturaleza	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR		
Tierra	Negativa -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	
Madera	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25	
Casetones de poliestireno expandido	Negativa -	2	1	1	1	4	2	1	1	1	1	20	
Malla de plástico reciclado	Negativa -	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13	

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

Tomando en cuenta la valoración presentada en la tabla 2, se puede concluir que, el empleo de los materiales para la elaboración de la propuesta constructiva tiene una valoración mínima que es considerada como de baja repercusión en el medio ambiente. Y tal como se menciona en la tabla 3 el impacto ambiental que los materiales escogidos para la propuesta resulta irrelevante o mínimo.

## CAPÍTULO 4

Para concluir, se realizará una comparación entre el sistema constructivo convencional con el propuesto aplicados a una sección constructiva en los siguientes aspectos: cimentación, estructura y envolvente.

### 4.1. Cimentación

La cimentación es un elemento estructural que se hace cargo de la transmisión de las cargas de una edificación al suelo, distribuyendo los esfuerzos de forma uniforme. En otras palabras, es la base sobre la que se edifica una construcción y su principal objetivo es asegurar la estabilidad y resistencia de esta. (Anicama, 2020)

#### 4.1.1. Cimentación del sistema constructivo convencional

Para el sistema constructivo convencional se emplea una cimentación superficial de zapata aislada que consiste en una sección rectangular de 80cm de ancho y 80cm de profundidad, está conformada por hormigón armado y refuerzo de acero en barras.

**Tabla 16**

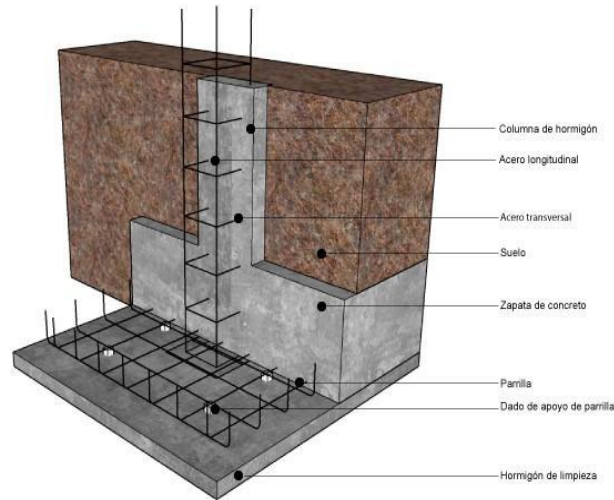
Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo tradicional

		CIMENTACIÓN: SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL												
Naturaleza		IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	Importancia	Impacto	
Cimentación de hormigón con refuerzo de acero en barras	Negativa -	4	4	4	4	4	8	2	1	4	4	51		

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

## Figura 12

### Cimentación superficial –sistema constructivo convencional



En base a la valoración de la tabla 2, podemos concluir que, la cimentación utilizada para la construcción del sistema constructivo convencional tiene un impacto ambiental severo debido a las afecciones ambientales que se producen en su proceso de elaboración.

Para realizar una zapata aislada, se inicia con la excavación del terreno utilizando maquinaria especializada, como excavadoras y retroexcavadoras, que generan emisiones de gases que contribuyen al cambio climático. Posteriormente, se construye un encofrado de madera para contener el hormigón de limpieza, una capa fina de hormigón que separa la zapata del suelo y que genera contaminación en su producción.

Luego de colocar la parrilla y el pedestal con barras de acero para permitir el anclaje de otros elementos estructurales, se procede a la construcción de la zapata. Este proceso implica la producción de la malla de acero y el vertido del hormigón, dos actividades que generan un impacto ambiental considerable. La fabricación de la malla de acero implica un gasto

considerable de energía y materiales. El hormigón, por su parte, produce emisiones gases contaminantes durante su producción y puesta en obra.

**4.1.2. Cimentación del sistema constructivo propuesto**

La cimentación del sistema constructivo propuesto consta de un dado de cimentación de 40cm de ancho y 40cm de profundidad, está conformado por hormigón armado y acero estructural, se emplea este tipo de cimentación debido a que la estructura de la edificación es ligera.

**Tabla 17**

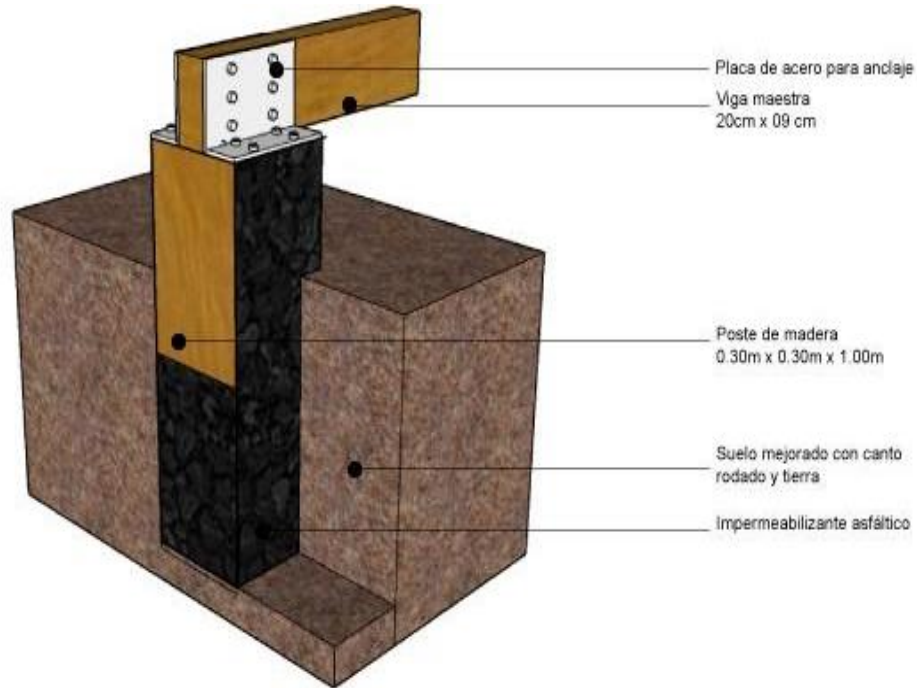
Evaluación del impacto ambiental del sistema constructivo propuesto

CIMENTACIÓN: SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO													Importancia	Impacto
Naturaleza	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR				
Poste de madera impermeabilizado	Negativa -	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	23		

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

**Figura 12**

Cimentación del sistema constructivo propuesto



Tomando como referencia las valoraciones de la tabla 2, se considera que la cimentación empleada para el sistema constructivo propuesto, reduce significativamente la contaminación en comparación con una convencional debido a que hace uso la madera cubierta de impermeabilizante asfáltico para transmitir las cargas al suelo.

#### **4.2. Estructura**

La estructura de una edificación es como su esqueleto, la parte interna que le da forma y la mantiene en pie. Está compuesta por diversos elementos, como los cimientos, las vigas, las columnas y las losas, que trabajan en conjunto para soportar el peso de la construcción y distribuirlo de forma segura al suelo. En otras palabras, la estructura es la base sobre la que se

construye todo lo demás, y es fundamental para asegurar la solidez y la firmeza de la construcción a lo largo del tiempo. (Anicama, 2020)

#### 4.2.1. Estructura empleada en el sistema constructivo convencional

La estructura del sistema constructivo convencional consta de losas de hormigón, columnas de hormigón, vigas de hormigón y una cubierta conformada por perfiles de acero.

**Tabla 18**

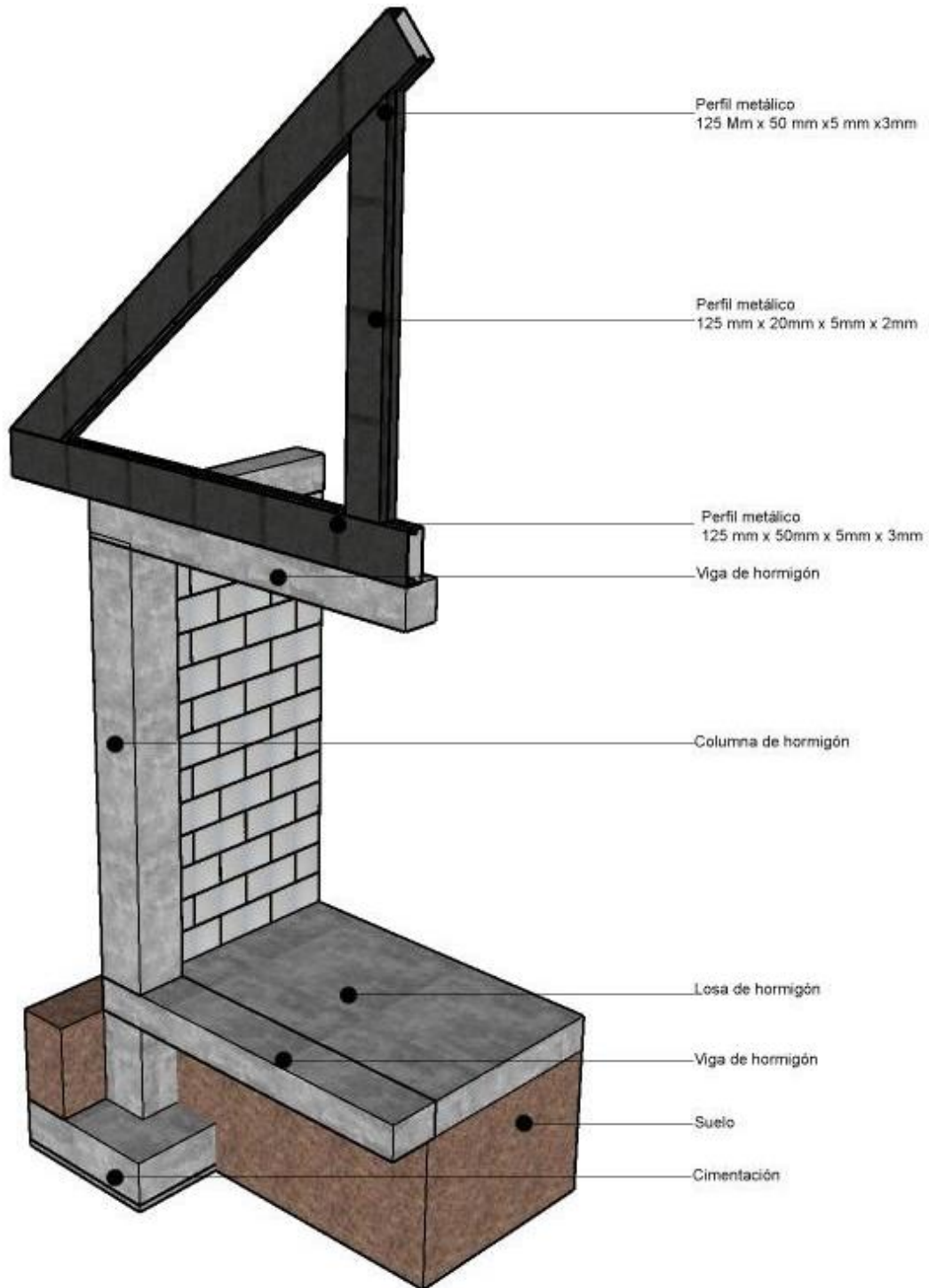
Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo convencional

		ESTRUCTURA: SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL												
	Naturaleza	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	Importancia	Impacto	
Losa de hormigón	Negativa -	2	2	4	4	4	8	2	1	4	4	41		
Vigas de hormigón	Negativa -	2	2	4	4	4	8	2	1	4	4	41		
Columnas de hormigón	Negativa -	2	2	4	4	4	8	2	1	4	4	41		
Perfiles de acero	Negativa -	4	4	4	4	4	8	4	4	4	4	56		

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

**Figura 14**

Estructura del sistema constructivo tradicional



Considerando la puntuación de la tabla 2 para la interpretación de resultados, podemos concluir que, la estructura del sistema constructivo convencional tiene una repercusión medioambiental media en lo que se refiere a losas de hormigón, vigas de hormigón, columnas de hormigón y mampostería de bloque debido a que sus afecciones son irreversibles. El impacto ambiental es considerado severo ocasionado por el impacto relevante generado en la producción de los perfiles de acero.

#### 4.2.2. Estructura empleada en el sistema constructivo propuesto

La estructura del sistema constructivo propuesto está conformado por columnas de madera, vigas de madera, entrepiso de madera y, como elemento no estructural, cuenta con paneles de madera y tierra, dicho panel fue propuesto en el capítulo anterior.

**Tabla 19**

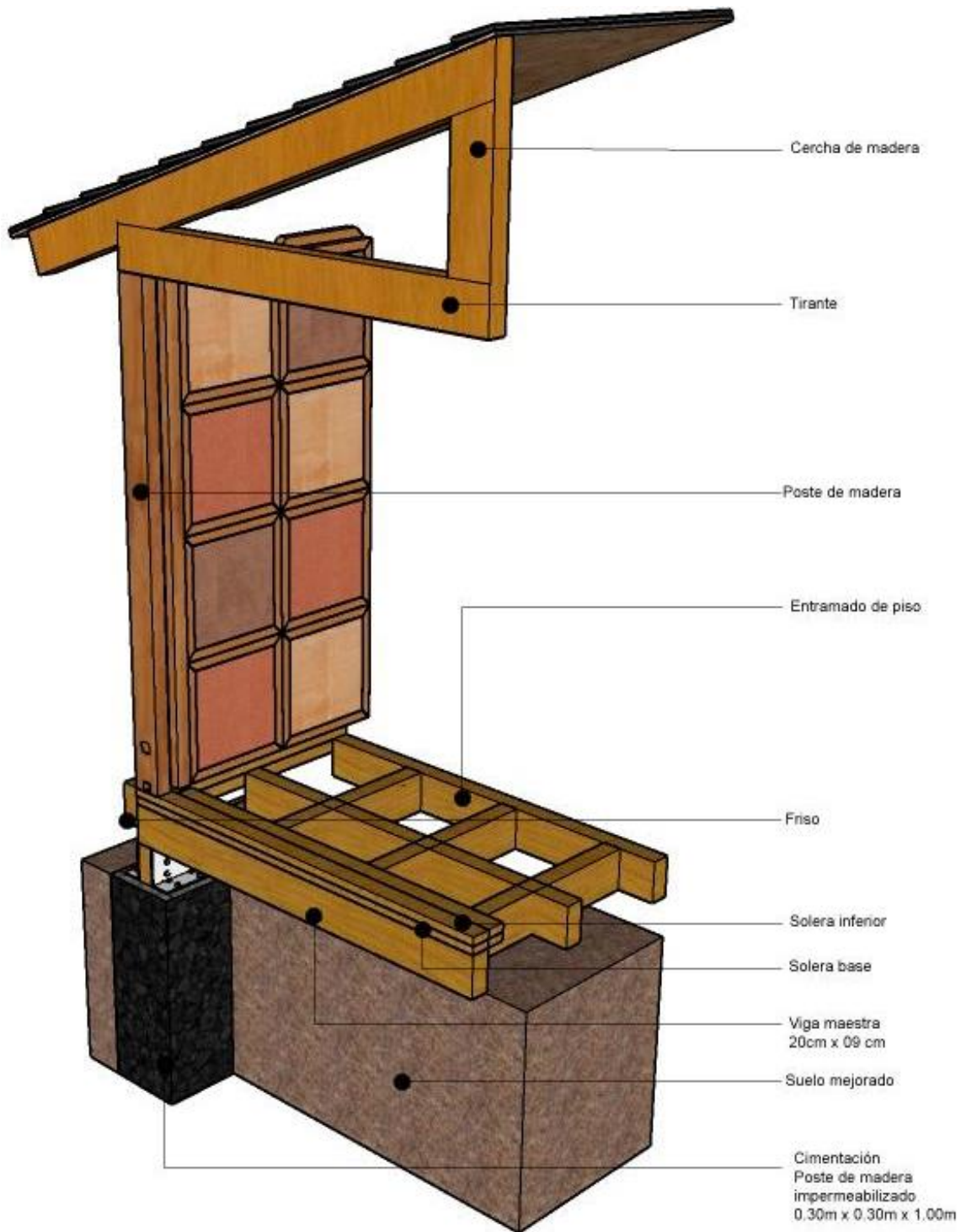
Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo propuesto

	Naturaleza	ESTRUCTURA: SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO										Importancia	Impacto
		IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR		
Columnas de madera	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25	
Vigas de madera	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25	
Entrepiso de madera	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25	

Fuente: Fernández-Vítora (1997).

**Figura 13**

Estructura del sistema constructivo propuesto



Según la interpretación de datos de la tabla 2 podemos considerar que la estructura empleada para el sistema constructivo propuesta tiene un impacto ambiental bajo debido a que se hace uso de materiales con menor producción de residuos contaminantes y se pueden conseguir en el medio donde se realizará la construcción.

### 4.3. Envolventes

El termino envolvente en arquitectura hace referencia a la piel de la edificación, por lo que se analiza la cubierta y las mamposterías de los sistemas constructivos.

#### 4.3.1. *Envolvente del sistema constructivo tradicional*

Para el recubrimiento de la cubierta del sistema constructivo convencional, en este caso, se hace unos de planchas de fibrocemento y para la mampostería se hace uso de bloques de concreto.

**Tabla 20**

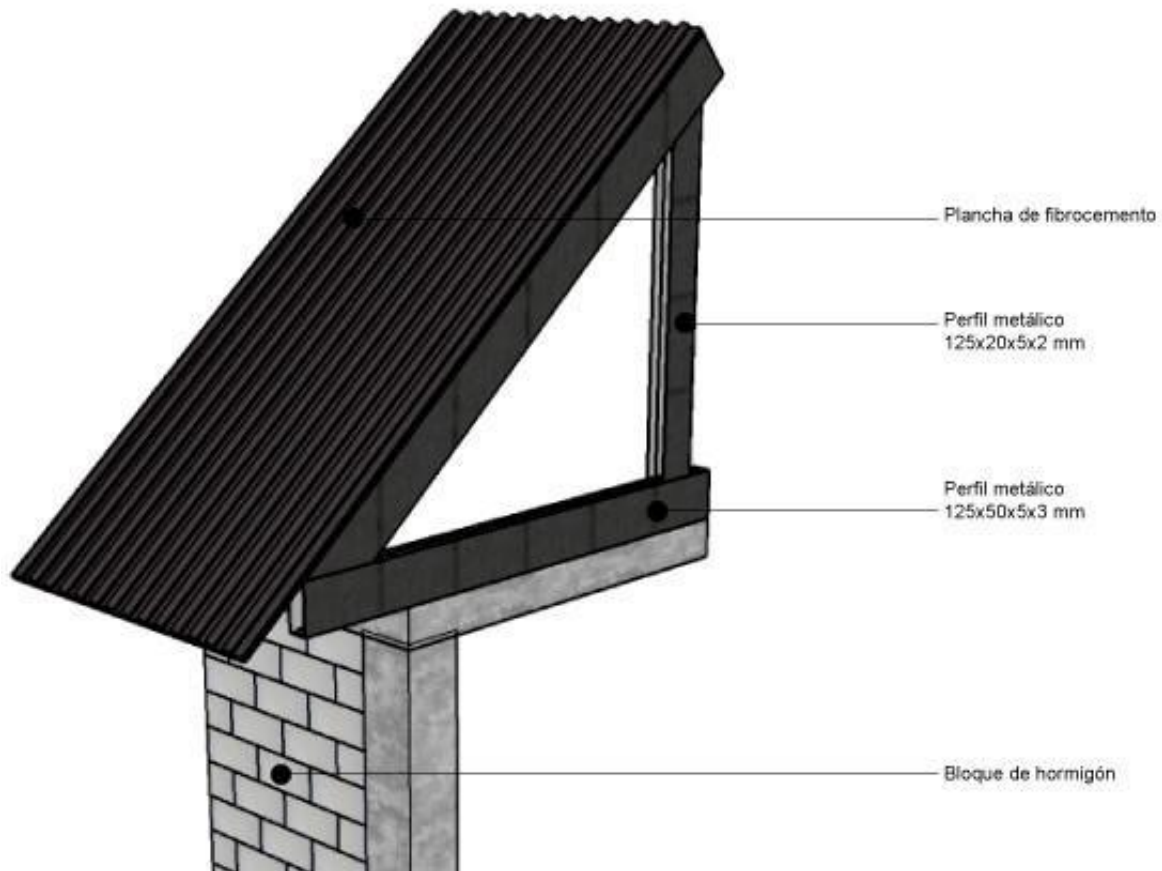
Evaluación de impacto ambiental del sistema constructivo tradicional

		ENVOLVENTE: SISTEMA CONSTRUCTIVO CONVENCIONAL											
Naturaleza		IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	Importancia	Impacto
Plancha de fibrocemento	Negativa -	8	4	4	4	4	4	4	1	4	2	59	
mampostería de bloque	Negativa -	4	2	2	2	2	4	4	1	4	2	37	

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

**Figura 14**

Cubierta del sistema constructivo convencional



Según las valoraciones expresadas en la tabla 2, se considera que los usos de planchas de fibrocemento producen un impacto ambiental severo debido a la generación de residuos que produce su fabricación y a los efectos irreversibles que se producen.

#### ***4.3.2. Envoltente sistema constructivo propuesto***

Para el sistema constructivo propuesto se hace uso de planchas de OSB y láminas asfálticas para la cubierta y la mampostería es resuelta con paneles de madera y tierra.

**Tabla 21**

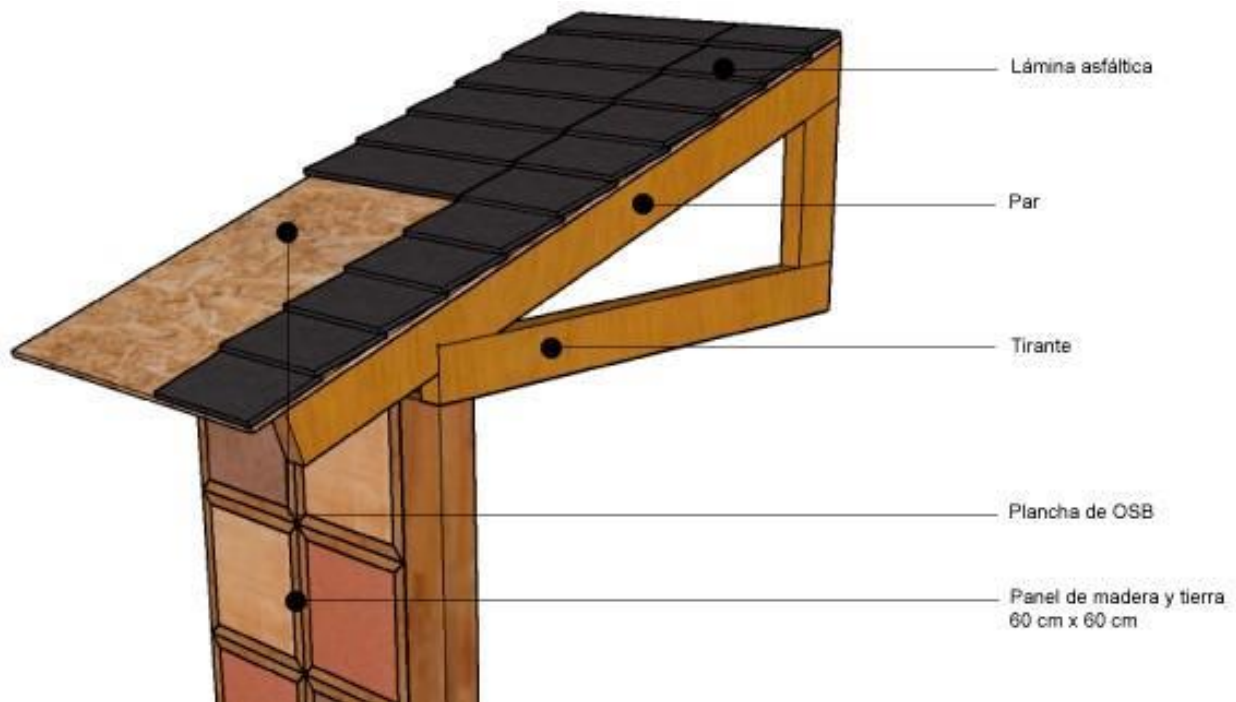
Evaluación del impacto ambiental del sistema constructivo propuesto

		ENVOLVENTE: SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO												
	Naturaleza	IN	EX	MO	PE	RV	MC	SI	AC	EF	PR	Importancia	Impacto	
Planchas de OSB	Negativa -	2	1	4	2	1	2	2	1	4	1	25		
Lamina asfáltica	Negativa -	4	2	4	2	2	2	2	1	4	1	34		
Panel de madera y tierra	Negativa -	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	16		

Fuente: Fernández-Vítora (1997)

**Figura 15**

Cubierta del sistema constructivo propuesto



Para la envolvente del sistema constructivo propuesto, en base a las valoraciones expuestas en la tabla 2, para la cubierta, el empleo de OSB tiene un impacto ambiental bajo debido a que no genera afecciones significativas al medio ambiente, el uso de lámina asfáltica

produce un impacto ambiental medio ya que su afección al entorno es más significativa, para la mampostería se hace uso de paneles de madera y tierra con un impacto ambiental bajo debido a que para su elaboración se emplean materiales del entorno como madera y tierra reduciendo también la contaminación que el transporte de materiales produce.

### 5.1. Interpretación de resultados

Después de haber aplicado el modelo de matriz de Fernández-Vítora para determinar el impacto ambiental en tres partes, cimentación, estructura y envolvente, se procederá a comparar cada una de las partes tomando como referencia los resultados obtenidos mediante un promedio entre los valores obtenidos en la matriz y colocando el color correspondiente al valor resultante.

**Tabla 22**

Resumen de resultados obtenidos

ANÁLISIS DE RESULTADOS						
	Sistema constructivo convencional	Importancia	Total Promedio componentes	Sistema constructivo propuesto	Importancia	Total Promedio componentes
Cimentación	Cimentación de hormigón con refuerzo de acero	51	51	Poste de madera impermeabilizado	23	23
Estructura	Losa de hormigón	41	44.75	Columnas de madera	25	25
	Vigas de hormigón	41		Vigas de madera	25	
	Columnas de hormigón	41		Entrepiso de madera	25	
	Perfiles de acero	56				
Envolvente	Plancha de fibrocemento	59	48	Planchas de OSB	25	25
	Mampostería de bloque	37		Lamina asfáltica	34	
				Panel de madera y tierra	16	

#### 5.1.1 Cimentación

Según los resultados obtenidos podemos concluir que, emplear una cimentación de zapata aislada produce un impacto ambiental severo, esto se debe a que su proceso de elaboración

genera gran cantidad de residuos, emite gases de efecto invernadero, utiliza recursos naturales e impacta el ecosistema del sitio donde se realiza, en contraste, la cimentación propuesta produce un impacto ambiental bajo debido a que hace uso de una base de piedra para sostener un poste de madera impermeabilizado, lo que reduce significativamente la generación de residuos y emisiones contaminantes.

### ***5.1.2. Estructura***

Los métodos de construcción tradicionales generan un impacto ambiental medio, esto ocurre debido a que se hace uso de hormigón y acero, para la producción de hormigón es necesario una gran cantidad de recursos, que producen residuos contaminantes además del consumo energético que requiere su producción, la industria siderúrgica, encargada de la producción del acero, demanda un significativo gasto de energía durante la producción de sus piezas generando también una gran cantidad de residuos contaminantes, vale recalcar que, la estructura del sistema constructivo propuesto, al ser de madera produce un impacto ambiental bajo, ya que minimiza significativamente las emisiones de gases perjudiciales para el medioambiente y la generación de residuos contaminantes, en comparación con el sistema constructivo convencional.

### ***5.1.3. Envoltente***

La cubierta del sistema convencional, basada en planchas de fibrocemento, genera un impacto ambiental severo debido a la explotación casi rudimentaria de recursos naturales de condición no renovable como la caliza, el requerimiento de energía en grandes cantidades y la consecuente emisión de gases contaminantes. Por su parte, la cubierta del sistema propuesto, construida con láminas asfálticas, presenta un impacto ambiental medio. Si bien este material también genera un impacto considerable, se posiciona como una mejor opción en comparación

con el fibrocemento para mitigar la contaminación ambiental. La mampostería del sistema constructivo convencional hace uso de bloque de hormigón, mismo que contamina en su proceso de fabricación debido a la utilización de recursos y procedimientos requirentes para su elaboración y fabricación, como en su puesta o colocación en obra por la cantidad de residuos que produce y energía que consume, en contraparte, en el sistema constructivo propuesto se hace uso de paneles de madera y tierra aprovechando los recursos del entorno minimizando la contaminación en los procesos de elaboración de materiales para la construcción.

## CONCLUSIONES

La presente investigación ha revelado una diferencia sustancial en el daño ambiental, con la construcción tradicional siendo considerablemente más perjudicial para el medio ambiente que el sistema constructivo propuesto.

La utilización de materiales como el bloque de concreto, el hormigón, y el acero en la construcción tradicional produce un alto consumo de recursos naturales y uso excesivo de energía, además de emisiones de gases de efecto invernadero y residuos contaminantes. Por otro lado, el sistema constructivo propuesto, basado en la madera y tierra, presenta un impacto ambiental significativamente menor.

Al utilizar madera desde la cimentación, se reduce drásticamente el impacto ambiental de la construcción debido a que, al remplazar el hormigón, que es el método habitual para cimentaciones, se evita la contaminación que el proceso de obtención y puesta en obra del hormigón, remplazando las columnas y vigas de hormigón con refuerzo de acero en barras por postes de madera, se hace uso de recursos que pueden estar presentes en el sitio donde se realiza la construcción evitando la contaminación que produce la fabricación de hormigón, su transporte y puesta en obra, se reemplazó la losa de hormigón por un entramado de madera evitando la contaminación que el hormigón produce, para la mampostería de empleo un entramado por medio de paneles de madera y tierra, que, como se mencionó anteriormente puede ser construido haciendo uso de recursos disponibles en el entorno, remplazando el bloque de hormigón, cuyo proceso de elaboración resulta perjudicial para el medio ambiente, de la misma manera, se reemplazó la habitual cubierta conformada por perfiles metálicos y planchas de fibrocemento por cerchas de madera revestidas por planchas de OSB y láminas asfálticas disminuyendo el impacto ambiental que una cubierta convencional genera desde su elaboración en la industria siderúrgica

hasta su colocación, dicho esto se puede concluir que el modelo presentado constituye una alternativa factible y eficaz para reducir el impacto ambiental que una construcción convencional produce.

Esta diferencia se refleja en la matriz aplicada, que permite visualizar el menor impacto ambiental del sistema propuesto. Esta alternativa se presenta como una respuesta viable para la construcción sostenible, permitiendo aprovechar los recursos disponibles sin generar un impacto significativo en el entorno.

Para la promoción de la sostenibilidad en el amplio espectro de la industria de la construcción, es necesario que los profesionales del sector se capaciten en el uso de materiales y técnicas ambientalmente amigables. Esto incluye el conocimiento de materiales reciclados o de bajo impacto ambiental, como la madera, el bambú o la tierra, entre otros, así como técnicas de construcción eficientes que minimicen el consumo de recursos y la producción de desechos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado Pérez, M. S. (2021). *Determinación del consumo energético y emisión de co2 en los procesos de fabricación del adobe*. [bachelorThesis]. Determinación del consumo energético y emisión de co2 en los procesos de fabricación del adobe.  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10926>
- Alzate Soto, J. P., & Osorio Ríos, J. P. (2015). *Bahareque como ejemplo de sostenibilidad, una herencia que se transforma*. <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/2330>
- André, P., Delisle, C. E., & Revéret, J.-P. (2004). *Environmental Assessment for Sustainable Development: Processes, Actors and Practice*. Presses inter Polytechnique.
- Anicama Yalico, E. R. (2020). *Procedimiento constructivo de plateas de cimentación de concreto armado*.  
<https://repositorio.sencico.gob.pe/bitstream/handle/sencico/63/ANICAMA%20YALICO%20EDWIN%20RONALD%20-%20MONOGRAFIA%20-02-02-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bustamante Mora, S. L. (2022). *Evaluación comparativa de impacto ambiental aplicando la matriz de Conesa-Fernández, el método de Leopold y método de Batelle, en el proyecto de mejoramiento del servicio de transitabilidad de un sector del eje de integración vial norte, en los distritos de Yura y Cerro Colorado—Arequipa*.  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11826>
- Cipponeri, M. (2019). *Evaluación y Estudio de Impacto Ambiental*. Repositorio Institucional de la UNPL.  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/88480/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/88480/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Díaz Rubio, R. (2022). *Energías renovables en la fabricación de materiales de construcción y optimización del impacto medioambiental. Perspectiva de la huella de carbono*.  
<http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/2425>
- Fermé, L. C. (2013). El uso de los recursos leñosos entre grupos cazadores-recolectores patagónicos: Estudio de la movilidad a partir de la arqueobotánica. *Perifèria. Revista d'investigació i formació en Antropologia*, 18(2), Article 2.  
<https://doi.org/10.5565/rev/periferia.397>
- González Calderón, A. J. (2022). Análisis comparativo de tres sistemas constructivo de tierra. Energía embebida y emisiones de CO2. *AREA, Agenda de Reflexión en Arquitectura, Diseño y Urbanismo*, 28(2), 7.
- Guerrero, L. F. (2018). La tierra como material sostenible de conservación. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 7(13), 78-96.  
<https://doi.org/10.18537/est.v007.n013.a04>
- Hernández Zamora, M. F., Jiménez Martínez, S., & Sánchez Monge. (2021). *Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción / Revista Tecnología en Marcha*.  
[https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/4831](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4831)
- Lliso Ferrando, J. R., Martínez Ibernón, A., Gasch, I., Valcuende Payá, M., Gandía Romero, J. M., & Soto Camino, J. (2022). Hormigones de bajo impacto ambiental: Los geopolímeros. Evolución de la resistencia. *Libro de abstracts, 2022, ISBN 978-84-123872-7-8*, págs. 169-172, 169-172.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8431344>

- Martínez Sañudo, C. (2019). *Estudio y aplicaciones de las construcciones con fardos de paja. Beneficios de los materiales naturales*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/38967>
- Matheus, Y. (2022, noviembre 12). LA MADERA EN LA CONSTRUCCIÓN: Uso, características, tipos y beneficios ambientales – Ecosiglos. *ecosiglos*. <https://ecosiglos.com/la-madera-en-la-construccion/>
- Parvina Gonzales, C. I. (2020). *Adición de fibras de aluminio reciclado en bloques de concreto vibrado para mejorar las propiedades físicomecánica*. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/87826/Parvina\\_GCI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/87826/Parvina_GCI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Peciña López, D. (2023, junio 5). Día Mundial del Medio Ambiente: Bambú, el acero vegetal para las construcciones del siglo XXI. *Ciudades Sostenibles*. <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/dia-mundial-del-medio-ambiente-bambu-el-acero-vegetal-para-las-construcciones-del-siglo-xxi/>
- Pescador, D. (2022, diciembre 31). *El hormigón provoca el 8% de las emisiones mundiales de CO2: ¿qué alternativas existen?* elDiario.es. [https://www.eldiario.es/consumoclaro/hormigon-provoca-8-emisiones-mundiales-co2-alternativas-existen\\_1\\_9827092.html](https://www.eldiario.es/consumoclaro/hormigon-provoca-8-emisiones-mundiales-co2-alternativas-existen_1_9827092.html)
- Rojas Gómez, J. M. (2023). *Valorización de residuos generados en los procesos de la industria siderúrgica, una revisión bibliográfica*.
- Roux Gutiérrez, R. S., & Velázquez-Lozano, J. (2016). Bloques de tierra comprimida, su retardo térmico e impacto ambiental. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 11(19), Article 19.
- Sendra, A. M. (2020). *Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/160345/Mart%c3%adn%20->

%20Estudio%20comparativo%20de%20%20fibras%20naturales%20para%20reforzar%20  
Ohormig%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suárez Silgado, S. S., Betancourt Quiroga, C., Molina Benavides, J., & Mahecha Vanegas, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: Estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244.  
<https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>

Trujillo, J. (2021, noviembre 16). ¿Por qué construir con bambú? *Universidad del Medio Ambiente*. <https://umamexico.com/por-que-construir-con-bambu/>

Bustamante Mora, S. L. (2022). Evaluación comparativa de impacto ambiental aplicando la matriz de Conesa-Fernández, el método de Leopold y método de Batelle, en el proyecto de mejoramiento del servicio de transitabilidad de un sector del eje de integración vial norte, en los distritos de Yura y Cerro Colorado—Arequipa.  
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11826>

Torres, V. Y., Ramírez, Y. M., López, D. D., Torres, V. Y., Ramírez, Y. M., & López, D. D. (2021). Sostenibilidad ambiental en la minería de materiales aluviales: El caso de Rio Negro, Dibulla, Colombia. *Información tecnológica*, 32(6), 85-92.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600085>

UNEP. (2022). UNEP - UN Environment Programme. UNEP - UN Environment Programme.  
<http://www.unep.org/node>

Vallejo, E., Soria, M., & Paz y Miño, V. (2023). *Estadísticas de Edificaciones (ESED)* (Boletín Técnico N°03-2023-ESED). [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Encuesta\\_Edificaciones/2022/anual/3.%202022\\_ESED\\_Boletin\\_tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2022/anual/3.%202022_ESED_Boletin_tecnico.pdf)

Vera Torrejón, J. A., & Caicedo Safra, P. (2014). El Impacto Ambiental Negativo y su Evaluación Antes, Durante y Después del Desarrollo de Actividades Productivas.

*Derecho & Sociedad*, 42, 223-232.

<https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/12478>



**Leslie Valeria Luna Ormaza** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302875190**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Panel de madera y tierra como una alternativa ecológica al sistema constructivo convencional”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **08 de mayo del 2024**.

F: 

**Leslie Valeria Luna Ormaza**

**C.I. 0302875190**